Teknologinen ongelmanratkaisuprosessi lämpöopin opettamisessa vuolukiven avulla yläkoulussa

Konsta Hartikainen

Pro gradu -tutkielma
Toukokuu 2018
Fysiikan ja matematiikan laitos
Itä-Suomen yliopisto

Konsta Hartikainen

Teknologinen ongelmanratkaisuprosessi lämpöopin opettamisessa vuolukiven avulla yläkoulussa, 43 sivua
Itä-Suomen yliopisto
Fysiikan ja matematiikan laitos
Fysiikan aineenopettajakoulutus

Työn ohjaaja FT Mikko Kesonen

Tiivistelmä

Yhdysvalloissa on kehitetty luonnontieteitä eheyttävää opetusta, jota kutsutaan STEM-opetukseksi. Opetusmenetelminä käytetään esimerkiksi tutkimuslähtöistä, ongelmalähtöistä tai ilmiölähtöistä opetusta. STEM-opetukseen liittyy myös teknologinen ongelmanratkaisuprosessi, joka on suuressa roolissa tässä tutkielmassa. Aikaisemmissa tutkimuksissa on huomattu STEM-opetuksen parantavan oppimistuloksia ja lisäävän oppilaiden innostusta luonnontieteiden opiskelua kohtaan. Tämän pro gradu -tutkielman tavoitteena oli selvittää, kuinka teknologinen ongelmanratkaisuprosessi vaikuttaa oppilaiden lämpöopin osaamiseen. Tutkimusta varten suunniteltiin työpajatyyppinen opetuskokeilu, jossa yhdeksäsluokkalaiset oppilaat rakensivat ryhmissä mahdollisimman hyvin lämpöä varastoivia pienoisvuolukiviuuneja. Tulosten perusteella ei voida suoraan sanoa oppilaiden osaamisen parantuneen opetuskokeilun aikana. Tutkimus antoi kuitenkin rohkaisevia tuloksia kehittää työpajaa paremmaksi ja toteuttaa sitä vielä laajemmassa mittakaavassa.

Esipuhe

Tarkoituksenani oli tehdä gradu kirjallisuuskatsaustyyppisesti helppona toimistotyönä, mutta kiitos Mervi Asikaisen ja ohjaajani Mikko Kesosen, päädyinkin tekemään opetuskokeilua vuolukiviuuneista. Jälkikäteen ajateltuna tämä ei ollut yhtään huono valinta gradun aiheeksi. Tutkielman tekeminen oli mielenkiintoista, opettavaista sekä suhteellisen kivutonta.

Haluan kiittää ohjaajaani Mikko Kesosta erinomaisen hyvistä neuvoista sekä innostavasta asenteesta, joka tarttui myös minuun. Haluan myös kiittää Juha Kettusta Pielisjoen koulusta opetuskokeilun mahdollistamisesta sekä hyvistä neuvoista kokeilun suunnittelussa. Erityiskiitokset puolisolleni Elsalle vertaistuesta, kannustuksesta ja siitä, että jaksoit kuunnella jatkuvaa stressaamista ja vaahtoamista gradusta. Nyt se on ohi!

Joensuussa 21. toukokuuta 2018 *Konsta Hartikainen*

Sisältö

1 Johdanto **1**

2 Fysiikan teoria **3**

2.1 Lämpöenergia ja lämpö 3

2.2 Lämmön siirtyminen 3

2.2.1 Johtuminen 4

2.2.2 Säteily 5

2.2.3 Kuljettuminen 6

2.2.4 Lämpöenergian säilymislaki 7

2.3 Lämmön varastoituminen 8

2.4 Vuolukiven ominaisuuksia 9

2.4.1 Vuolukiven koostumus ja fysikaalisia ominaisuuksia 9

2.4.2 Vuolukiven lämpöominaisuuksia 9

2.5 Yhteenveto 10

3 Opetuksen teoria **11**

3.1 STEM 11

3.1.1 Tutkimukset STEM-opetuksen vaikutuksista oppimiseen 12

3.1.2 STEM-opetus opettajan näkökulmasta 14

3.2 Opetuksellisen rekonstruktion malli 15

3.3 Oppilaiden virhekäsityksiä lämpöopissa 18

4 Tutkimuksen toteutus **20**

4.1 Tutkimuksen tarkoitus ja tutkimuskysymykset 20
4.2 Opetuskokeilun kulku ja aineiston kerääminen 21
4.2.1 Opetuskokeilun kulku 22
4.2.2 Aineiston kerääminen 24
4.3 Aineiston analysointi 25
5 Tulokset 27
5.1 Ennakko- ja lopputestien tulokset 27
5.2 Testitulosten yhteenveto 35
5.3 Opettajan haastattelu 36
6 Pohdinta 38
6.1 Yhteenveto ja johtopäätökset 38
6.2 Tulosten luotettavuuden tarkastelu 42
6.3 Jatkotutkimusehdotuksia 43
Viitteet 44
Liite A Työohje 47
Liite B Apukuvat uunin rakenteesta 49
Liite C Ennakko-/lopputesti 51
Liite D Opettajan haastattelun kysymykset 53

Luku I

Johdanto

Yhteiskunta ja työelämä muuttuvat kovaa vauhtia ja koulumaailman pitää pystyä vastaamaan muutokseen. Oppiaineiden sisältöjen ulkoa opettelu ei enää ole tätä päivää, vaan opetettavia asioita pitää osata hyödyntää ja soveltaa käytännössä. Sen tukemiseksi on kehitetty STEM-opetusta, joka sisältää matematiikan, luonnontieteiden ja teknologiataitojen opetusta. STEM tulee sanoista *science, technology, engineering* ja *mathematics.* Siinä matematiikan ja luonnontieteiden sisältötietoon pohjautuen pyritään suunnittelemaan ja toteuttamaan jokin teknologinen sovellus, kuten esimerkiksi pienoisvuolukiviuuni. Sovelluksen suunnittelua ja toteutusta voidaan kuvata teknologisesti ongelmanratkaisuprosessiksi. (Kelley & Knowles, 2016)

Tässä tutkielmassa kehitettiin teknologiseen ongelmanratkaisuprosessiin tukeutuva opetuskokeilu perusopetuksen vuosiluokkien 7-9 oppilaille. Kokeilun aiheena oli lämpöoppi ja opiskeltavina aiheina oli lämmön siirtymismekanismit, ominaislämpökapasiteetin käsite sekä lämpöenergian säilymislaki. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, kuinka opetuskokeilu vaikuttaa oppilaiden edellä mainittujen lämpöopin lainalaisuuksien osaamiseen. Lisäksi selvitettiin, millaisena opetuskokeilu näyttäytyy opettajalle.

Opetuskokeilun aikana lämpöoppia opiskeltiin vuolukiven avulla ja oppilaiden tehtävänä oli suunnitella pienoisvuolukiviuuni, joka varastoi lämpöenergiaa mahdollisimman hyvin. Tavoitteena oli saada oppilaat ymmärtämään, minkälainen uunin rakenne tulisi olla ja mistä materiaalista uuni kannattaisi tehdä, jotta se varastoisi mahdollisimman paljon lämpöenergiaa. Tutkimuksessa käytettiin apuna lämpökameraa sekä tietokoneavusteisia mittauslaitteita.

Opetuskokeilun suunnittelussa käytettiin opetuksellisen rekonstruktion mallia (Duit, 2007), jossa opetettavasta aiheesta, esimerkiksi lämpöopista, valitaan koulumaailmaan relevantit sisällöt ja muokataan niistä mielekäs opetuskokonaisuus. Sisältöjä ei karsita, vaan ne opetetaan mielekkäässä ja helposti omaksuttavassa muodossa. (Duit;Grobelgießer;& Kattmann, 2005)

Tutkimuksen idea pohjautuu Kesosen ym. (2017) artikkeliin ”Tulta, kiveä ja yritysyhteistyötä”. Siinä kuvataan, kuinka Tohmajärven Tietäväisen koululla järjestettiin ilmiöviikolla työpaja, jossa oppilaat tutustuivat vuolukiviuunien teolliseen tuotantoon, rakensivat pienoisvuolukiviuuneja ja opiskelivat siinä samassa lämpöoppia. (Kesonen, ym., 2017)

Tutkielman toisessa luvussa esitellään tutkimuksen kannalta oleellista lämpöopin teoriaa. Ensin perehdytään lämpöön ja lämpöenergiaan. Tämän jälkeen perehdytään lämmönsiirtymismekanismeihin, joista esitellään johtuminen, säteily ja konvektio. Kolmanneksi esitellään lämpöenergian säilymislaki ja tutustutaan lämmön varastoitumiseen. Neljänneksi esitellään tutkimuksen kannalta relevantteja vuolukiven ominaisuuksia, kuten rakenne, koostumus, ominaislämpökapasiteetti sekä lämmönjohtavuuskerroin.

Kolmannessa luvussa esitellään tutkimuksessa käytettyä opetuksen teoriaa. Ensimmäisenä esitellään mitä STEM-opetus on ja miten teknologista ongelmanratkaisuprosessia voidaan hyödyntää koulumaailmassa. Myös uusimmassa perusopetuksen opetussuunnitelman perusteissa painotetaan tutkimuksellisuutta sekä mahdollisuutta soveltaa fysiikkaa erilaisissa konteksteissa ja liittää sitä käytännön teknologiaan. (Opetushallitus, 2014) Kolmannessa luvussa esitellään kaksi tutkimusta STEM-opetuksen vaikutuksesta oppimistuloksiin. Lisäksi esitellään opetuksellisen rekonstruktion mallin teoriaa.

Neljännessä luvussa esitellään tutkimuksen tarkoitus sekä tutkimuskysymykset. Luvussa kerrotaan myös opetuskokeilun rakenteesta, toteutuksesta ja aineistonkeruumenetelmistä sekä aineiston analysoimisesta. Viidennessä luvussa esitellään tutkimuksen tulokset, jotka rohkaisevat kehittämään ja kokeilemaan opetuskokeilua suuremmassa mittakaavassa. Kuudennessa luvussa tehdään johtopäätöksiä tutkimustuloksista, pohditaan tulosten luotettavuutta sekä esitellään ehdotukset jatkotutkimuksiksi.

Luku II
Fysiikan teoria

Tässä luvussa esitellään tutkimuksen kannalta relevantteja lämpöopin käsitteitä ja lainalaisuuksia. Tärkeitä fysiikan sisältöjä ovat lämpöenergian siirtymistavat, varastoituminen sekä lämpöenergian säilymislaki. Lisäksi luvussa käsitellään vuolukiven lämpöominaisuuksia.

2.1 Lämpöenergia ja lämpö

Lämpöenergia kertoo systeemin rakenneosasten liike-energian. Lämpö ei ole tilamuuttuja, eikä siten systeemin ominaisuus. Sen sijaan lämmöllä tarkoitetaan energiaa, joka siirtyy systeemin ja ympäristön välillä lämpötilaeron takia. Lämpöä siirtyy spontaanisti korkeammasta lämpötilasta matalampaan lämpötilaan. Termofysiikan yhtälöissä lämpömäärää merkitään kirjaimella Q. (Knight, 2013)

2.2 Lämmön siirtyminen

Lämpö voi siirtyä paikasta toiseen monella eri tavalla. Eri siirtymistapoja on johtuminen, säteily ja konvektio eli kulkeutuminen.

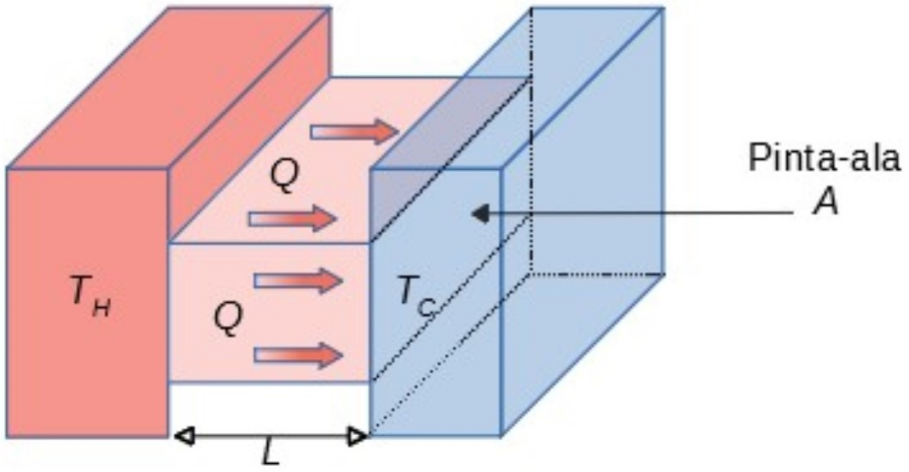
2.2.1 Johtuminen

Lämpötilaeron aiheuttamaa lämpöenergian siirtymistä kutsutaan johtumiseksi. Siinä lämpöenergia siirtyy kuumasta kappaleesta kylmään kappaleeseen kuvan 2.1 mukaisesti. Kiinteissä aineissa lämpöliikkeeseen sisältyy atomien värähtelyä, jonka eteneminen siirtää energiaa. Metallien hilarakenteessa on vapaita elektroneja, joiden lämpöliike aiheuttaa lämmön johtumista. Metalliseoksissa hilarakenteessa on erilaisia atomeita, mikä aiheuttaa kidevirheen hilarakenteeseen. Se häiritsee vapaiden elektronien liikettä, minkä vuoksi metalliseokset johtavat lämpöä huonommin kuin puhtaat metallit. Nesteissä lämpö johtuu molekyyleihin sitoutumattomien atomien ja hiukkasten liikkeiden ansiosta. Nesteissä lämpö kuitenkin siirtyy pääasiassa kuljettumalla (ks. kpl 2.2.3). Kaasuissa molekyylit törmäilevät, ja törmäyksissä tapahtuu energian siirtymistä, mikä taas aiheuttaa lämmön johtumista. (Hemilä & Utriainen, 1989)

Siirtyneeseen lämpöenergian määrään vaikuttaa lämpötilaero, johdinkappaleen pinta-ala sekä sen pituus. Lisäksi siihen vaikuttaa johdinkappaleen lämmönjohtavuuskerroin k, joka on aineelle ominainen vakio. Lämmönsiirtymisnopeus ajan suhteen saadaan kaavasta

$$\frac{Q}{\Delta t} = k\frac{A}{L}\Delta T, \tag{1}$$

missä Q on lämpömäärä, Δt on ajan muutos, A on johdinkappaleen pinta-ala, L on johdinkappaleen pituus, vakio k on kappaleen lämmönjohtavuuskerroin ja ΔT on kappaleiden välinen lämpötilaero $\Delta T = T_H - T_C$, missä T_H on kuuman kappaleen lämpötila ja T_C on kylmän kappaleen lämpötila. (Knight, 2013)



Kuva 2.1. Lämmön johtuminen kiinteän aineen läpi. (mukaillen Knight, 2013)

Kappaleen lämmönjohtavuus kertoo kappaleen kyvystä johtaa lämpöä ja mitä suurempi arvo on, sitä peremmin kappale johtaa lämpöä. (Knight, 2013) Esimerkiksi ilman lämmönjohtavuus on 0,023 W/(m·K) (Knight, 2013), kun taas vuolukiven on 6,4 W/(m·K) (Properties of soapstone, 2018). Puhtaiden metallien lämmönjohtavuus voi olla jopa 500 W (m·K) (Hemilä & Utriainen, 1989).

2.2.2 Säteily

Kaikki kappaleet emittoivat, eli lähettävät sähkömagneettista säteilyä. Sen saa aikaan atomin virittäytyneiden elektronien siirtyminen takaisin alemmille energiatasoille. Virittäytyminen voi aiheutua esimerkiksi lämpöliikkeestä, jolloin lämpöliikkeen tuottamaa sähkömagneettista säteilyä sanotaan lämpösäteilyksi. (Hemilä & Utriainen, 1989; Knight, 2013)

Lämpösäteilyn voimakkuus ajan suhteen saadaan kaavasta

$$\frac{Q}{\Delta t} = e\sigma A T^4, \qquad (2)$$

jossa e on aineelle ominainen pinnan emissiivisyyskerroin, σ on Stefan-Bolzmannin vakio ($\sigma = 5{,}67 * 10^{-8}\ \mathrm{W/m^2K^4}$), A on säteilevän pinnan ala ja T on säteilevän kappaleen lämpötila kelvineinä. (Knight, 2013)

2.2.3 Kuljettuminen

Konvektio eli kuljettuminen on lämmön siirtymistä virtaavan nesteen tai kaasun, eli fluidin mukana kuvan 2.2 mukaisesti. (Hemilä & Utriainen, 1989) Esimerkiksi kattilassa lämpöä siirtyy veden mukana, kun se lämpenee, muuttuu harvemmaksi ja nousee ylöspäin. Myös ilman tiheys pienenee, kun se lämpenee ja kaasu nousee ylöspäin. (Knight, 2013)

Kuva 2.2 Lämmin vesi liikkuu konvektion vaikutuksesta. (Knight, 2013)

Kuljettumisen liikkeen matemaattinen mallinnus sekä siirtyneen energian laskeminen on todella monimutkaista, koska sen liike on usein turbulenttista ja vaikeaa ennustaa. (Knight, 2013) Sen verran tiedetään, että lämpövuo q fluidista kiinteään pintaan tai toisin

päin on verrannollinen fluidin ja kiinteän pinnan lämpötilaeroon kaavan 3 mukaisesti. Lämpövuolla tarkoitetaan siirtyneen lämmön määrää pinta-alaa kohden ja sen yksikkö on W/m^2. (Hemilä & Utriainen, 1989)

$$q = \alpha\left(T_{pinta} - T_{fluidi}\right) \tag{3}$$

Lisäksi lämpövuon tiheyteen vaikuttaa lämmönsiirtymiskerroin α, joka riippuu olosuhteista monimutkaisella tavalla. Sen yksikkö on W/(K·m^2). Lämmönsiirtymiskertoimeen vaikuttavat esimerkiksi rajapinnan muoto ja laatu sekä asento gravitaatiokentässä, fluidin tiheys, viskositeetti, ominaislämpökapasiteetti, lämmönjohtavuus sekä virtauksen nopeus. (Hemilä & Utriainen, 1989)

Kuljettuminen on tärkeä lämmönsiirtymistapa. Esimerkiksi merivirrat ja tuulet syntyvät kuljettumisen ansiosta. Ilmalla on huono lämmönjohtavuuskyky, mutta se kuljettaa tehokkaasti lämpöä. Sen takia seisovaa ilmaa käytetään eristeenä esimerkiksi talvivaatteissa ja monikerroksisissa ikkunoissa. (Knight, 2013)

2.2.4 Lämpöenergian säilymislaki

Jos kaksi kappaletta on täysin eristetyssä systeemissä, niiden välillä siirtyy lämpöenergiaa, kunnes molemmat kappaleet ovat samassa lämpötilassa. Tilaa sanotaan termiseksi tasapainotilaksi. Systeemin täytyy olla täysin eristetty, jotta energiaa ei siirtyisi ympäristöön. Eristetyssä systeemissä kuumemman kappaleen luovuttaman energian määrä on yhtä suuri kuin kylmemmän kappaleen vastaanottaman energian määrä: (Knight, 2013)

$$|Q_{kuuma}| = |Q_{kylmä}| \tag{4}$$

Kappaleen varastoimaan lämpöenergian määrään Q vaikuttaa kappaleen massa, ominaislämpökapasiteetti sekä kappaleen lämpötilan muutos. Jos kappaleen lämpötila kasvaa, on $Q > 0$. Jos kappaleen lämpötila laskee, on $Q < 0$. Siispä kaavan (4) mukaiselle riippuvuudelle pätee:

$$Q_{kylmä} = -Q_{kuuma} \tag{5}$$

Jos systeemissä on useampia kappaleita, on siirtyneiden lämpöenergioiden summa 0:

$$Q_{kok} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \cdots + Q_n = 0 \tag{6}$$

Tämä tarkoittaa sitä, että kaikilla kappaleilla on sama loppulämpötila, vaikka niillä on ollut eri alkulämpötila. Osa kappaleista luovuttaa ja osa vastaanottaa lämpöä, ja täysin eristetyssä systeemissä lämpöenergioiden summa on nolla. (Knight, 2013)

2.3 Lämmön varastoituminen

Lämpöä voi siirtyä kappaleiden välillä, ja sitä voi myös varastoitua kappaleeseen. Kun energiaa varastoituu kappaleeseen, sen lämpötila kasvaa. Lämpökapasiteetti C on kappaleelle ominainen suure ja kertoo, kuinka paljon kappaleeseen pitää tuoda lämpöä, jotta sen lämpötila nousee tietyn verran. Lämpökapasiteetin yksikkö on J/K (Blundell, 2010)

$$C = \frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}T} \tag{7}$$

Materiaalin ominaislämpökapasiteetti c kertoo, sen kyvystä varastoida lämpöä ja sen yksikkö on J/(K·kg). Ominaislämpökapasiteetti kertoo, kuinka paljon tietyn massaiseen kappaleeseen varastoituu energiaa lämpötilan muutosta kohden. Kappaleen ominaislämpökapasiteetti c voidaan laskea lämpökapasiteetin C ja massan m avulla (Blundell, 2010):

$$c = C/m \tag{8}$$

Kappaleeseen sitoutuneen lämpöenergian määrä voidaan laskea ominaislämpökapasiteetin c, massan m ja lämpötilan muutoksen ΔT avulla: (Knight, 2013)

$$Q = cm\Delta T \tag{9}$$

2.4 Vuolukiven ominaisuuksia

Vuolukiveä esiintyy eri puolilla maapalloa, kuten Yhdysvalloissa, Kanadassa, Venäjällä sekä Suomessa. Suomessa merkittävimmät esiintymät ovat Pohjois-Karjalassa ja Kainuussa. (Tiira, 1986) Tässä kappaleessa tarkastellaan vuolukiven sekä fysikaalisia- että lämpöominaisuuksia.

2.4.1 Vuolukiven koostumus ja fysikaalisia ominaisuuksia

Vuolukivi sisältää pääasiassa pehmeitä mineraaleja, kuten talkkia ja magnesiittia. Lisäksi vuolukivi sisältää runsaasti esimerkiksi piidioksidia, magnesiumoksidia ja hiilidioksidia. Kiven koostumus vaihtelee eri esiintymien välillä, ja jopa saman esiintymän sisällä. (Tiira, 1986)

Vuolukiven rakenteessa on ikään kuin suonia, jotka kulkevat yhteen suuntaan. Vuolukiven rakennetta kutsutaan lustamaiseksi, ja kiveä voidaan leikata niiden suuntaisesti tai niitä vastaan. Tällöin puhutaan myötälustakivestä, jota käytetään rakennuskivenä sekä vastalustakivestä, jota käytetään tulisijojen tulipinnoissa. (Tiira, 1986)

Vuolukivi on syntynyt satojen miljoonien vuosien kuluessa kovassa kuumuudessa ja kovan paineen alaisuudessa. Kovien olosuhteiden vuoksi sen rakenne on todella tiivis ja sen tiheys on noin 2 900 kg/m^3. Tiiveyden takia vesi ei pääse tunkeutumaan rakenteeseen edes kovassa paineessa. Tiivis rakenne parantaa myös vuolukiven kestävyyttä pakkasvaurioita vastaan, koska kiven rakenteisiin ei pääse kosteutta. Tavallisten kivien sisälle voi päästä vettä, ja se heikentää niiden rakennetta. (Properties of soapstone, 2018; Tiira, 1986)

2.4.2 Vuolukiven lämpöominaisuuksia

Vuolukiven lämmönjohtavuuskerroin on 6,4 W/(m·K) ja ominaislämpökapasiteetti 0,98 kJ/(kg·K). Vuolukiven hyvä lämmönjohtavuus johtuu sen tiiviistä rakenteesta. Sen lämmönjohtavuus on noin kaksinkertainen muihin kivimateriaaleihin ja kymmenkertainen täystiileen verrattuna, mikä tuo vuolukivelle huomattavaa etua uunin materiaalina. Hyvän lämmönjohtavuuden ansiosta vuolukivestä tehty uuni lämpenee nopeasti ja tasaisesti. (Properties of soapstone, 2018; Tiira, 1986)

Vuolukiven ominaislämpökapasiteetti on noin 20 % korkeampi, kuin luonnonkiven keskimäärin (c = 0,84 kJ/(kg·K)). Vuolukiven tiheys on suuri, ja näin ollen vuolukiven kyky varastoida energiaa tilavuusyksikköä kohden on huomattavasti suurempi kuin muilla kivimateriaaleilla. (Tiira, 1986)

2.5 Yhteenveto

Tutkielman fysiikan teoriaosaan valittiin pienoisvuolukiviuunien rakentamisessa olennaisia sisältötietoja. Näin ollen teoriaosaan valikoitui lämmön ja lämpöenergian käsitteet, lämmön siirtymistavat, lämpöenergian säilymislaki sekä lämmön varastoituminen.

Vuolukivi valikoitui materiaaliksi siksi, koska se on arkinen sekä suosittu materiaali uuneissa. Sitä voidaan myös käyttää rakennusmateriaalina (Tiira, 1986). Vuolukiven fysikaalisista ominaisuuksia on hyvä tietää, jotta sitä voidaan hyödyntää parhaalla mahdollisella tavalla. Esimerkiksi lämmönjohtavuus ja ominaislämpökapasiteetti ovat olennaisimpia asioita uunien rakentamisessa. Myös tiheys on tärkeä tietää, jotta suunnittelussa voidaan arvioida tarvittavaa kivimassaa.

Luku III
Opetuksen teoria

Tässä luvussa kuvataan STEM-opetuksen määritelmää sekä kerrotaan STEM-opetuksen vaikutuksesta oppimiseen ja millaisena se näyttäytyy opettajalle. Luvussa esitellään myös opetuksellisen rekonstruktion malli, joka ohjasi tutkimuksen opetuskokeilun suunnittelua. Luvun lopussa kerrottaan mallin mukaisesti oppilaiden lämpöopin virhekäsityksistä.

3.1 STEM

STEM tulee englannin kielen sanoista *science, technology, engineering* ja *mathematics.* Se voidaan suomentaa matematiikaksi, luonnontieteiksi ja teknologiataidoksi. Alun perin STEM-opetusta on alettu kehittää Yhdysvalloissa vastaamaan globaalin maailman ja elinkeinoelämän muutokseen. (Kelley & Knowles, 2016)

STEM-opetuksesta on tehty paljon tutkimuksia, esimerkiksi Heil, Pearson & Burger (2013), Jasien & Oberem (2002), Kelley & Knowles (2016), Scnittka & Bell (2011) sekä Siew, Amir & Chong (2015). Niissä on huomattu, että muihin oppisisältöihin ja eri opetusmetodeihin verrattuna STEM-opetuksessa on paljon eroa. STEM-opetuksessa oppisisällöt on liitetty reaalimaailmaan, opetus on ongelmalähtöistä, oppiainerajat ylittyvät sekä montaa ainetta opetetaan yhdessä, esimerkiksi matematiikkaa ja luonnontieteitä. Lisäksi matematiikassa ratkaistuja ongelmia hyödynnetään käytännön teknologisissa haasteissa. Kyseisiä aineita opetetaan siis ristiin, ja opiskelijat pääsevät hyödyntämään teoreettista osaamista käytännössä tutkimusten ja sovellutusten suunnittelun avulla. (Heil ym., 2013) On tutkittu, että kun oppilaat pääsevät itse

suunnittelemaan tutkimusta ja laatimaan esimerkiksi itselle tärkeitä kysymyksiä, heidän motivaationsa on korkeampi ja he ottavat enemmän vastuuta omasta oppimisesta. Samanlaisia tuloksia saatiin, kun opetusta liitettiin johonkin arkielämän kontekstiin. (Kelley & Knowles, 2016; Siew ym., 2015)

STEM-opetukseen kuuluu, että oppilaille annetaan mahdollisuus suunnitella ja toteuttaa tutkimuksia sekä teknologisia suunnitteluprosesseja[1]. Oppilaat käyttävät suunnittelussa omaa fysiikan tietämystään ja tarvittaessa hankkivat lisää tietoa. Oppilaat toteuttavat myös tuotekehitystä miettimällä, kuinka rakennettua laitetta voisi kehittää entistä paremmaksi. Prosessien aikana oppilaiden ymmärrys tutkittavasta asiasta pitäisi kasvaa. Opetuskokeilu kehittää myös ryhmätyötaitoja, koska työskentely tapahtuu ryhmissä. (Kelley & Knowles, 2016)

Teknologinen ongelmanratkaisuprosessi on eräs tapa toteuttaa STEM-opetusta. Siinä oppilaita haastetaan kehittämään ratkaisuja tosielämän ongelmiin käyttämällä tutkimuksellisuutta sekä teknologista suunnittelua ja rakentelua. Tavoitteena on saada oppilaat soveltamaan osaamistaan ja tätä kautta parantamaan luonnontieteiden osaamistaan. Opetusmenetelminä käytetään esimerkiksi tutkimuslähtöistä, ongelmalähtöistä tai ilmiölähtöistä opetusta. (Heil ym., 2013; Kelley & Knowles, 2016)

3.1.1 Tutkimukset STEM-opetuksen vaikutuksista oppimiseen

Teknologisten ongelmanratkaisuprosessien vaikutusta eri ikäisten oppilaiden oppimiseen on tutkittu paljon. Tutkimusten rakenne on ollut seuraavanlainen: oppilaat tekevät ensin alkutestin, jonka jälkeen on interventio eli opetuskokeilu, ja lopuksi oppilaat tekevät lopputestin. Usein myös ryhmän opettajaa haastateltiin opetuskokeilun jälkeen ja haastattelut nauhoitettiin. (Guzey;Harwell;Moreno;Peralta;& Moore, 2017; Schnittka & Bell, 2011)

Schnittka ja Bell (2011) tutkivat kuinka teknologinen ongelmanratkaisuprosessi vaikuttaa kahdeksasluokkalaisten lämpöopin peruskäsitteiden osaamiseen. Teknologisen

[1] Englanniksi: ”technological/engineering design-based approaches” (Heil ym., 2013, s. 5), “engineering desing process” (Schnittka & Bell, 2011, s. 2)

ongelmanratkaisuprosessin avulla oppilaat suunnittelevat ja rakentavat jonkin käytännön sovelluksen luonnontieteiden tietämyksen avulla. Yleensä prosessia ohjaa jokin ongelma, johon etsitään ratkaisua. (Schnittka & Bell, 2011)

Tutkimukseen osallistui kolme luokkaa, joista yksi toimi kontrolliryhmänä. Ryhmät opiskelivat kuusi 80 minuuttista oppituntia ja lopuksi ryhmät tekivät saman loppukokeen. Kontrolliryhmä opiskeli perinteisesti tutkimuksellista otetta käyttäen. Kaksi muuta ryhmää opiskeli ilmiölähtöisesti ja teknologista ongelmanratkaisuprosessia käyttäen. Tutkimuksessa huomattiin, että kaikkien ryhmien oppimistulokset paranivat. Suurimman parannuksen ja parhaimmat tulokset sai ryhmä, joka opiskeli ilmiölähtöisesti käyttäen paljon demonstraatioita ja teknologista ongelmanratkaisua. Kyseisen ryhmän oppilailla oli myös vähiten virhekäsityksiä lämpöopin peruskäsitteistä. (Schnittka & Bell, 2011)

Guzey ym. (2017) tutkivat teknologiseen suunnitteluun[2] perustuvan STEM-opetuksen vaikutusta luonnontieteissä ja matematiikassa ala- ja yläkoulussa. Suunnitteluprosessissa ei varsinaisesti etsitä ratkaisua ongelmaan, vaan harjoitellaan nimensä mukaisesti teknologista suunnittelua ja rakentelua. Tutkimukseen osallistuvien koulujen opettajat osallistuivat kesällä kolmeviikkoiselle intensiivikurssille, jossa he valmistivat teknologiseen suunnitteluprosessin avulla sopivia materiaaleja opetettavien ilmiöiden havainnollistamiseen. Kyseiset opettajat opettivat tekemiensä materiaalien avulla seuraavana lukuvuonna. Opettajat, jotka eivät osallistuneet koulutukseen, opettivat kontrolliryhmiä perinteisellä tavalla. Tutkimuksessa saadut tulokset osoittivat, että teknologiseen suunnitteluun pohjautuva opetus vaikuttaa eri tavalla eri aineissa ja luokka-asteilla. Esimerkiksi lämmönsiirtymistä käsiteltäessä ymmärtämisen parannusta tapahtui vain yläkoulussa. Lisäksi opettajien taidot vaikuttivat tutkimustuloksiin. (Guzey ym., 2017)

Artikkeleiden perusteella teknologinen ongelmanratkaisuprosessi voi parantaa oppimistuloksia luonnontieteissä. Tulokset riippuvat kuitenkin niin käytetyistä metodeista kuin luokka-asteista missä niitä käytetään. Tärkeänä asiana on löytää kullekin luokka-asteelle sopiva metodi, koska ei ole olemassa yleispätevää tapaa opettaa kaikkia

[2] Englanniksi: ”engineering design process” (Guzey ym., 2017)

ikäryhmiä. Myös opettajan taidot suunnitella tehtäviä ja ohjata oppilaita ovat suuressa roolissa. (Guzey ym., 2017)

3.1.2 STEM-opetus opettajan näkökulmasta

Siew ym. (2015) tutkivat, millaisia ennakkokäsityksiä opettajilla ja opettajaopiskelijoilla on projektilähtöisestä STEM-opetuksesta. Tutkimuksessa selvitettiin esimerkiksi työpajatoiminnasta saatavia hyötyjä opetuksessa sekä opettajan mahdollisesti kohtaamia haasteita työpajan toteuttamisessa tai projektiluonteisen opetuksen toteuttamisessa normaalissa opetuksessa. Tutkimuksessa opettajat ja opettajaopiskelijat osallistuivat työpajatoimintaan, jossa he rakentelivat projektiluontoisesti erilaisia teknologisia sovelluksia havainnollistamaan eri fysiikan ilmiöitä. He tutkivat esimerkiksi, kuinka osien sijoittelu ja massa vaikuttavat leikkiauton suorituskykyyn. Tutkimuksen mukaan opettajan rooli projektiluonteisessa työskentelyssä on ohjata ryhmiä kohti ongelman vaatimaa ratkaisua. Tavoitteena on, että ratkaisut olisivat moninaisia. Opettajan tavoitteena on rohkaista oppilaita yhteistoiminnalliseen oppimiseen ja vahvistaa oppilaiden viestinnän sekä kriittisen ajattelun taitoja. (Siew ym., 2015)

Tutkimuksessa kerättiin aineistoa kyselyillä, haastatteluilla sekä ryhmäkeskusteluilla. Haastatteluiden välissä opettajat ja opettajaopiskelijat osallistuivat työpajaan. Haastattelut olivat strukturoituja ja niissä kysyttiin esimerkiksi: *”Miten opettaja hyötyy ottaessaan osaa työpajatoimintaan?”, ”Mitä opettaja oli mieltä työpajasta?”, ”Mitä haasteita opettaja kohtasi työpajassa?”, ”Mitä mahdollisia ongelmia opettaja saattaa kohdata soveltaessaan työpajaa opetuksessaan ja miten niitä ongelmia voitaisiin ennaltaehkäistä?”.* (Siew ym., 2015)

Tutkimukseen osallistuneiden opettajien ja opettajaopiskelijoiden mielipiteet havainnollistavaa ja tutkimuksellista työpajatoimintaa kohtaan muuttuivat myönteisimmiksi. Osallistujien ymmärrys projektiluontoisesta työpajatoiminnasta kasvoi ja opettajat innostuivat käyttämään työpajatoimintaa myös omassa opetuksessaan. Opettajien mielestä projektilähtöinen opetus oli kivaa, mielenkiintoista, motivoivaa sekä se paransi luovuutta. Opettajien mielestä oppiainerajojen ylittäminen parantaa myös oppilaiden motivaatiota luonnontieteitä kohtaan. (Siew ym., 2015)

Yhtenä haasteena oli, että oppitunnit olivat liian lyhyitä työpajan toteuttamiseen. Suurimpana haasteena omassa opetuksessa toteuttamiselle opettajat pitivät

materiaalipulaa. Jopa 96 % opettajista oli tätä mieltä ja kertoi vaikeuksista saada tarvittavia välineitä työpajatoiminnan toteuttamiseen. Lisäksi puolet opettajista vastasi laboratorioiden olevan puutteellisia. Vastauksista nousi myös esille suunnittelutyön liian suuri määrä. (Siew ym., 2015)

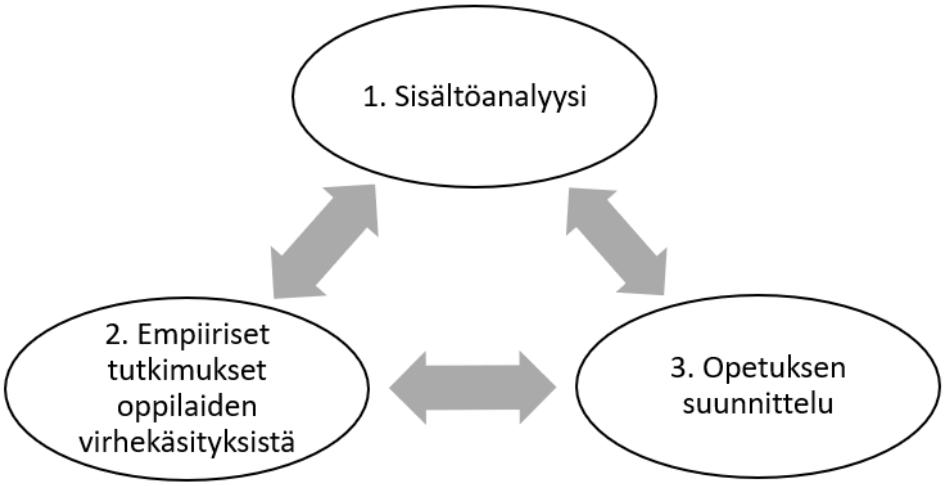
3.2 Opetuksellisen rekonstruktion malli

Tutkimuksen opetuksellinen osan suunnittelu perustuu opetuksellisen rekonstruktion malliin. Kyseistä mallia ovat kehittäneet yhteistyössä Oldenburgin yliopiston biologian opetuksen tutkimusryhmä sekä IPN-Kielin fysiikan opetuksen tutkimusryhmä. IPN-Kiel on Kielin yliopistossa sijaitseva tutkimuslaitos, joka keskittyy luonnontieteiden ja matematiikan opetuksen tutkimukseen ja kehittämiseen (IPN Kiel, 2018). Kyseinen malli on alun perin kehitetty viitekehykseksi luonnontieteiden opetuksen tutkimuksille, joissa tutkitaan, onko mahdollista ja kannattavaa opettaa luonnontieteiden eri sisältökokonaisuuksia. Malli liittää tehokkaasti opetuksen tutkimuksen ja käytännön toisiinsa. Malli ottaa huomioon oppilaiden virheelliset ja oikeat käsitykset opetettavasta sisällöstä, kuin myös opetettavan sisällön mielekkyyden opetuksen tavoitteisiin nähden. (Duit, 2007; Duit ym., 2005)

Opetuksellisen rekonstruktion malli perustuu konstruktivistiseen oppimiskäsitykseen, jonka mukaan oppija konstruoi itse tietoa aiemmin opitun tiedon pohjalta. Oppijoiden mahdollisia virheellisiä ennakkokäsityksiä aiheesta ei nähdä esteenä, vaan niitä pyritään muokkaamaan kohti haluttua ja oikeaa tietoa. (Duit, 2007)

Jokainen oppikirja, esitys tai muu kirjallinen tuotos on tekijän tulkinta jostain sisällöstä, ja ne palvelevat eri tarpeita. Se voidaan nähdä tekijän pyrkimyksenä ohjata opiskelijaa kohti opetustavoitteita. Esimerkiksi luonnontieteiden opetuksessa rakennetaan tietoa eri tavalla kuin tutkimuksessa. (Duit, 2007)

Opetuksellisen rekonstruktion malli voidaan jakaa kolmeen eri vaiheeseen, jotka on esitetty kuvassa 3.1.



Kuva 3.1 Opetuksellisen rekonstruktion malli. (Mukaillen Nurkka, 2006)

Asiasisällön analysoiminen

Ensimmäiseen vaiheeseen kuuluu opetettavan sisältötiedon analysoiminen. Siinä fysiikan käsitteitä sekä sisältöä analysoidaan opetuksellisesta näkökulmasta. Analysointi sisältää tärkeimpien oppikirjojen ja julkaisujen laadullista analysointia kunkin fysiikan osa-alueen osalta. Lisäksi tutkitaan sisällön kehittymistä historiallisesta näkökulmasta. Tässä vaiheessa on tarpeen tarkastella kriittisesti akateemisia tiedekirjoja ja oppisisältöjä. Opetuksen rekonstruktion mallissa vaikeista ja monimutkaisista sisällöistä ja käsitteistä täytyy poimia olennainen ja muokata se mielekkääseen ja ymmärrettävään muotoon. Opetuksen tavoitteet määrittävät, mitä sisältöjä opiskeltavasta aiheesta opetetaan. Oppilaat opiskelevat siis vain opetuksen kannalta mielekkäimmät ja olennaisimmat asiat. Tässä vaiheessa etsitään myös käsitteitä, jotka voivat olla harhaanjohtavia oppilaan näkökulmasta katsottuna. Näitä voivat olla esimerkiksi sanat, joilla on eri merkitys tieteessä ja arkielämässä, kuten paino. (Duit ym., 2005; Nurkka, 2006)

Opiskelijoiden käsitysten tutkiminen

Toisessa vaiheessa tutkitaan opiskelijoiden käsityksiä opiskeltavasta aiheesta. Käsitykset voivat olla ennakkokäsityksiä, jotka voivat olla oikeita tai virhekäsityksiä. Oppilaiden ennakkokäsitykset voivat myös olla esimerkiksi mielipiteitä opetettavasta asiasta tai luonnontieteistä ylipäätään. Oppimisvaikeudet voivat olla sekä kognitiivisia että affektiivisia, ja molemmat on otettava yhtä lailla huomioon opetustapahtumaa suunniteltaessa. (Duit ym., 2005; Nurkka, 2006)

Opiskelijoiden ennakkokäsityksiä kartoitetaan empiirisillä tutkimuksilla, kuten haastatteluilla ja kyselyillä. Tässä vaiheessa voidaan myös analysoida valmiita tutkimuksia kyseisestä aiheesta. Tietoa voidaan kerätä myös opetustapahtumien aikana ja tietoa voidaan käyttää opetuksen kehittämiseen. Pienemmissä ryhmissä voidaan tutkia oppilaiden oppimisprosesseja ja ajatuksen kulkua. (Duit ym., 2005)

Opetuksen suunnittelu ja toteutus

Kolmannessa vaiheessa suunnitellaan opetuksen käytännön toteutusta, joka liittää yhteen opiskeltavat sisällöt sekä opiskelijoiden tiedot, taidot, oppimisvaikeudet ja kiinnostuksen kohteet. Tässä vaiheessa myös tapahtuu oppimateriaalien, työtapojen sekä oppituntien kehittäminen ja arvioiminen. Opetuksen suunnittelussa pitää ottaa huomioon opiskelijan kyvyt ja tarpeet, jotta oppimistavoitteisiin voitaisiin päästä. Opetettava sisältö täytyy muuttaa sellaiseen muotoon ja asiayhteyteen, joka oppilaiden on helppo ymmärtää. Opetus suunnitellaan siis mallin kahden ensimmäisen vaiheen pohjalta. (Duit ym., 2005; Nurkka, 2006)

Yleisin virhe opettajalla tässä vaiheessa on supistaa oppisisältöä tarkoituksenaan helpottaa opetettavaa asiaa. Silloin opetettavasta asiasta voi tulla liian yksinkertainen ja karsittu, mikä johtaa helpommin virhekäsitysten lisääntymiseen. Opetuksen rekonstruktion mallissa sisällöistä täytyy tehdä jopa moniulotteisempi, jotta monenlaiset oppijat pystyvät omaksumaan tietoa oman tasonsa mukaisesti. (Duit ym., 2005)

3.3 Oppilaiden virhekäsityksiä lämpöopissa

Opiskelijoiden virhekäsitysten tutkiminen kuuluu opetuksen rekonstruktion mallin toiseen osaan. Jasien & Oberem (2002) ovat tutkineet virhekäsityksiä, jotka liittyvät lämpöopin peruskäsitteisiin, kuten ominaislämpökapasiteettiin, työhön, lämmön siirtymiseen eri prosesseissa sekä termodynamiikan pääsääntöihin. Tutkimukseen osallistui luonnontieteiden opiskelijoita kahdesta yliopistosta Kaliforniassa. Tutkimusryhmissä oli kemian, biologian, algebrallisen fysiikan opiskelijoita sekä fysiikan opettajalinjalla opiskelevia. (Jasien & Oberem, 2002)

Tutkimuksessa selvisi, että opiskelijoilla on vaikeuksia ymmärtää termodynaamisen tasapainotilan käsitettä. Yleinen virhekäsitys oli, että termodynaamisessa tasapainotilassa saman systeemin kappaleilla voisi olla eri lämpötila. Lämmönsiirtymisprosessien ymmärtämisessä oli siis puutteita. (Jasien & Oberem, 2002)

Myös ominaislämpökapasiteetin käsitteellisessä ymmärryksessä oli puutteita. Osa opiskelijoista luuli, että kappale voi varastoida vain tietyn verran lämpöä, ja tätä kykyä kuvastaisi ominaislämpökapasiteetti. Osa opiskelijoista ei tiennyt ominaislämpökapasiteetin vaikutusta systeemin loppulämpötilaan. Myös lämpökapasiteetin, ominaislämpökapasiteetin ja lämpötilan muutoksen väliset riippuvuudet aiheuttivat sekaannusta. (Jasien & Oberem, 2002)

Myös Christensen, Meltzer & Nguyen (2011) ovat tutkineet yliopisto-opiskelijoiden virhekäsityksiä lämpöopin käsitteistä**.** Tutkimukseen osallistui yhteensä 1 036 opiskelijaa kolmen lukukauden aikana. Tutkimuksessa käsiteltiin lämpöopin perusteisiin liittyviä ymmärtämisen ongelmia. (Christensen ym., 2011)

Tutkimuksessa selvisi, että opiskelijoilla oli vaikeuksia ymmärtää lämmön ja lämpötilan eroja. Opiskelijoilla oli lisäksi vaikeuksia ymmärtää, mitkä kaikki asiat vaikuttavat siirtyneen lämpöenergian määrään. Tutkimuksessa kävi ilmi, että jopa viidesosa vastaajista luuli virheellisesti, että eristetyssä systeemissä kuumasta kappaleesta siirtyneen lämpöenergian määrä ei ole yhtä suuri kuin kylmän kappaleen vastaanottaman energian määrä. Toinen merkittävä virhekäsitys liittyi ominaislämpökapasiteetin ymmärrykseen. Noin neljäsosa opiskelijoista väitti, että suuremman ominaislämpökapasiteetin omaavan aineen lämpötilan muutos on suurempi kuin pienemmän ominaislämpökapasiteetin aineella. (Christensen ym., 2011)

Samankaltaisia tuloksia on saanut myös Scnittka & Bell (2011) tutkimuksessaan STEM-opetuksen vaikutuksesta kahdeksasluokkalaisten oppilaiden ymmärrykseen lämpöenergian ja lämmönsiirtymisen käsitteistä. (Schnittka & Bell, 2011)

Artikkeleiden perusteella opiskelijoiden virhekäsitykset liittyvät pääasiassa lämmön siirtymismekanismeihin sekä termodynaamiseen tasapainotilaan. Myös ominaislämpökapasiteetin käsitteen ymmärryksessä on jonkin verran ongelmia. Tässä tutkimuksessa pidettävässä opetuskokeilussa pyrittiin kiinnittämään huomiota näihin virhekäsityksiin.

Luku IV
Tutkimuksen toteutus

Tässä luvussa kerrotaan tutkimuksen tarkoitus sekä esitellään tutkimuskysymykset, aineistonkeruumenetelmät ja analyysimenetelmät. Lisäksi luvussa kerrotaan tarkemmin opetuskokeilun toteuttamisesta sekä aineiston analysoinnista.

4.1 Tutkimuksen tarkoitus ja tutkimuskysymykset

Tutkimuksen tarkoituksena oli suunnitella opetuksen rekonstruktion mallia hyödyntäen opetuskokonaisuus, jossa oppilaat rakensivat pienoisvuolukiviuuneja oppien samalla lämpöoppia. Opetuskokeilu perustuu teknologiseen ongelmanratkaisuprosessiin, joka on eräs tapa toteuttaa STEM-opetusta. Peruskoulun opetussuunnitelman perusteissa (2014) painotetaan tutkimuksellisuuta ja ilmiölähtöisyyttä peruskoulun opetuksessa. Opetussuunnitelmassa (Opetushallitus, 2014) yhtenä fysiikan tavoitteena on ”ohjata oppilasta ymmärtämään teknologisten sovellusten toimintaperiaatteita ja merkitystä sekä innostaa osallistumaan yksinkertaisten teknologisten ratkaisujen ideointiin, suunnitteluun, kehittämiseen ja soveltamiseen yhteistyössä muiden kanssa” (s. 390). Tavoitteena on myös ”kannustaa ja innostaa oppilasta fysiikan opiskeluun” (s.389) sekä ”ohjata oppilasta suunnittelemaan ja toteuttamaan kokeellisia tutkimuksia yhdessä muiden kanssa” (Opetushallitus, 2014, s. 389). STEM-opetuksen mukainen teknologinen ongelmanratkaisuprosessi (ks. luku 3.1) tukee hyvin ainakin näiden opetussuunnitelman tavoitteiden saavuttamista.

Tutkimuksessa selvitettiin, kuinka teknologinen kehittämisprosessi vaikuttaa oppilaiden lämpöopin lainalaisuksien osaamiseen. Tätä varten suunniteltiin opetuskokeilu, jossa

oppilaat suunnittelivat ja rakensivat ryhmissä mahdollisimman hyvin lämpöä varastoivia pienoisvuolukiviuuneja ja testasivat niiden lämmön varastoimiskykyä. Opetuskokeilun kulusta kerrotaan tarkemmin kappaleessa 4.2.1.

Tutkimusta varten muotoiltiin kaksi tutkimuskysymystä:

1) Kuinka oppilaat osaavat soveltaa lämpöopin lainalaisuuksia ennen ja jälkeen pienoisvuolukiviuunien rakentelua?

   Tällä kysymyksellä on tarkoitus selvittää, kuinka teknologinen ongelmanratkaisuprosessi vaikuttaa oppilaiden lämpöopin lainalaisuuksien hallitsemiseen. Lämpöopin käsitteistä tarkempaan analyysiin otettiin ominaislämpökapasiteetti, lämpöenergian siirtyminen sekä lämpöenergian säilymislaki. Jasien & Oberem (2002) sekä Shcnittka & Bell (2011) tutkivat STEM-opetuksen vaikutusta oppilaiden lämpöopin osaamiseen ja huomasivat sen parantavan oppimistuloksia. Tähän tutkimuskysymykseen vastaamalla pyritään saamaan selville, kuinka eräs teknologiseen ongelmanratkaisuprosessiin perustuva opetuskokeilu vaikuttaa oppilaiden lämpöopin osaamiseen.

2) Millaisena pienoisuunin rakentamista käsittelevä kokonaisuus näyttäytyy opettajalle?

   Opetuksen kehittäminen on tärkeää. Tämän kysymyksen tarkoitus on saada uutta näkökulmaa opetuskokeilun kehittämiseen ja saada arviointia moninaisemmaksi. Siksi kokeneelta opettajalta voidaan saada kehitysideoita, joita tutkielman tekijä ei itse tulisi ajatelleeksi. STEM-opetuksesta tehdyissä tutkimuksissa oli myös haastateltu luokan opettajaa ja se oli todettu hyväksi keinoksi kerätä aineistoa (Schnittka & Bell, 2011).

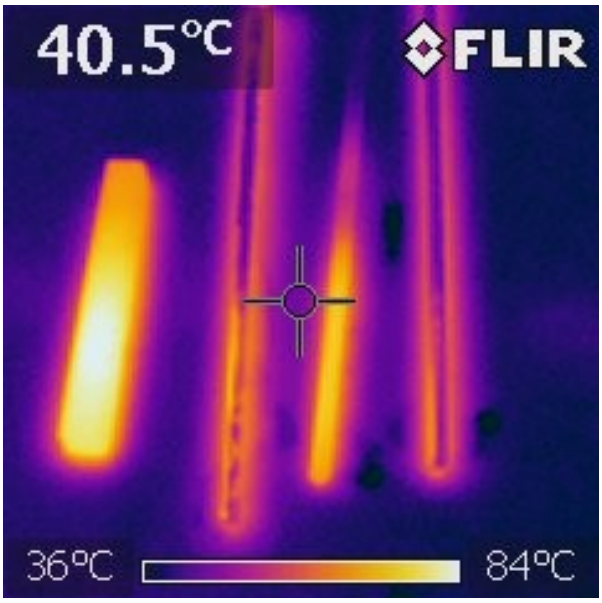
4.2 Opetuskokeilun kulku ja aineiston kerääminen

Tutkimus toteutettiin keväällä 2018 Joensuussa Pielisjoen koulussa, josta tutkimukseen osallistui yksi 20 hengen ryhmä yhdeksäsluokkalaisia. Oppilaat olivat opiskelleet lämpöoppia edellisenä vuonna, joten tiedot eivät todennäköisesti olleet tuoreessa muistissa. Oppilaat olivat LUMA-luokan oppilaita. LUMA-luokalla opiskellaan

luonnontieteitä ja matematiikkaa enemmän kuin normaalissa tuntijaossa. Oppilailla oli kokemusta avoimista tehtävänannoista ja työskentelystä työpajoissa.

4.2.1 Opetuskokeilun kulku

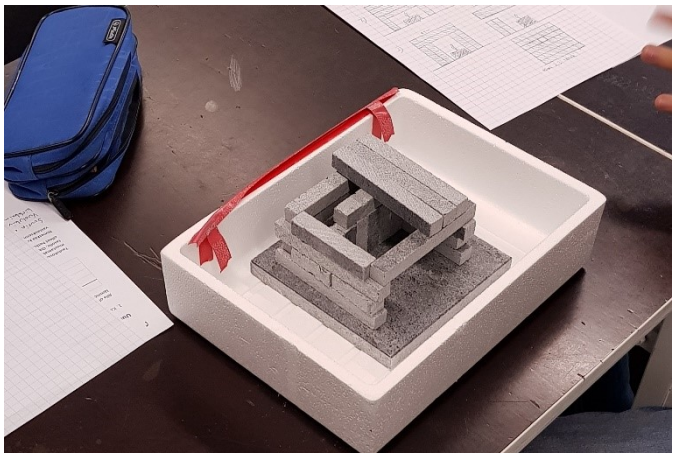
Varsinainen opetuskokeilu pidettiin Pielisjoen koululla maaliskuussa 2018. Oppitunti kesti 90 minuuttia ja siinä noudatettiin liitteen A työohjetta. Oppitunnilla oli mukana tutkielman tekijä, ohjaaja sekä luokan opettaja. Oppilaat jakautuivat seitsemään 2-3 hengen ryhmään. Oppilaiden ensimmäisenä tehtävänä oli vertailla eri kappaleiden ominaislämpökapasiteetteja ja lämmönjohtavuuskertoimia. Sen jälkeen heidän piti päätellä oikeat materiaalit lämpökameran kuvasta, joka on esitetty kuvassa 4.1. Tehtävä oli hieman vaikea, koska lämpökameran kuvasta ei voinut päätellä metalleja, koska lämpökamera ei tunnistanut kovin hyvin metallien lämpösäteilyä.

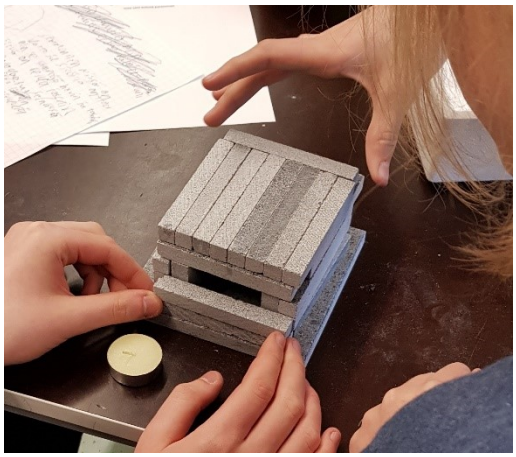


Kuva 4.1 Tehtävän 1 lämpökamerakuva.

Toisena tehtävänä oli rakentaa pienoisvuolukiviuuni, joka varastoi mahdollisimman paljon lämpöenergiaa. Ennen rakentelua esiteltiin yleisimmät uunien toimintaperiaatteet ja ryhmille annettiin esimerkkejä uunien rakenteesta (Liite B). Ryhmät tekivät työpöytäkirjat, johon he suunnittelivat rakentamansa uunin. Oppilaiden tehtävänä oli piirtää kuvat uunin rakenteesta ja perustella sanallisesti valitsemaansa uunin rakennetta. Tehtävänannon mukaisesti työpöytäkirjassa piti pohtia, minkälainen uunin rakenne

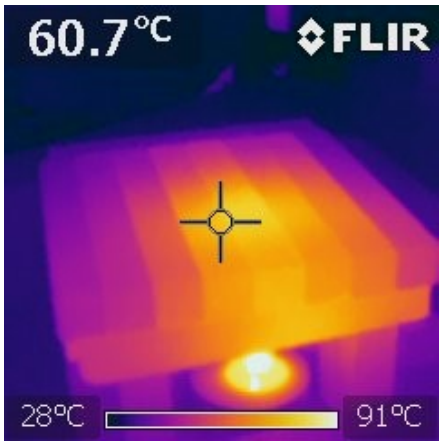
kannattaa olla, jotta se varastoi parhaiten lämpöenergiaa. Lisäksi piti kertoa, mihin fysiikan tietoihin suunnitelma perustuu.

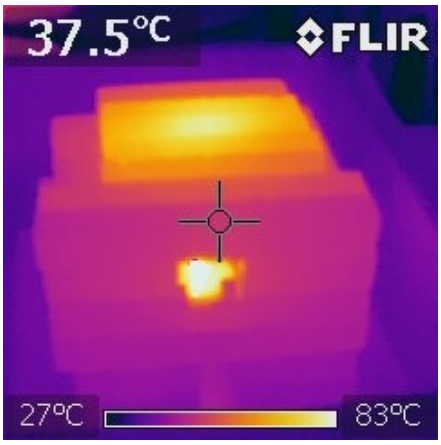




Kuva 4.2 Keskeneräinen (vasen) ja valmis (oikea) pienoisvuolukiviuuni.

Oppitunti eteni hyvin, ja osa ryhmistä keksi uunien rakenteet täysin itse eivätkä he käyttäneet liitteen B malleja. Kuvassa 4.2 on oppilaiden tekemiä uuneja. Oppilaat olivat innostuneita ja toimivat hyvin ryhmissä. Kahdella ryhmällä oli vaikeuksia päästä alkuun, joten opettajat neuvoivat heitä esimerkiksi uunin rakenteen kanssa. Innostusta lisäsi lämpökameran käyttäminen uunien lämpenemisen tutkimisessa. Kuvassa 4.3 on lämpökameralla otettuja kuvia oppilaiden tekemistä uuneista.





Kuva 4.3 Lämpökameralla otettuja kuvia oppilaiden tekemistä uuneista.

Uunien kivien varastoimaa lämpöenergian määrää tutkittiin upottamalla kivet kalorimetrissä olevaan veteen ja mittaamalla veden lämpötilan muutosta. Lisäksi oppilaiden täytyi mitata kalorimetrissä olevan veden määrä. Tämän avulla voitiin laskea veden lämpötilan nousuun tarvitsema energian määrä, joka on sama, kuin kiviin varastoituneen energian määrä. Monelle ryhmälle oli vaikeaa ymmärtää, kuinka veden avulla voidaan laskea kivessä oleva energian määrä. Johdattelemalla oppilaita heidät saatiin kuitenkin ymmärtämään energian laskeminen. Oppilailta lopussa kyselemällä melkein kaikki olivat innostuneita ja tykkäsivät työpajasta. Kyselemällä selvisi, että oppilaat haluaisivat jatkossakin tehdä samankaltaisia teknologiseen ongelmanratkaisuun perustuvia projekteja.

4.2.2 Aineiston kerääminen

Ensimmäiseen tutkimuskysymykseen pyrittiin saamaan vastaus samanlaisilla ennakko- ja lopputesteillä, jotka on esitetty liitteessä C. Oppilaat tekivät ensimmäiseksi ennakkotestin, joka kerättiin nimellisenä. Ennakkotesti tehtiin viikko ennen opetuskokeilua. Oppilaat tekivät lopputestin viikko opetuskokeilun jälkeen ja sekin kerättiin nimellisenä. Näin pystyttiin seuraamaan kunkin oppilaan osaamisen muutosta kokeiden välillä.

Testit olivat tutkielman tekijän laatimia ja ne mukailivat Jasienin & Oberemin (2002) sekä Christensenin ym. (2011) tutkimuksissaan tekemiään testejä. Testit lähetettiin tutkielman ohjaajalle tarkastettaviksi, jonka jälkeen ne lähetettiin Pielisjoen koulun opettajalle, joka hyväksyi ja toteutti testit. Testeissä kartoitettiin oppilaiden lämpöopin osaamista. Testissä kiinnitettiin huomiota opetuskokeilussa tarvittaviin fysiikan sisältöihin, kuten lämmön siirtymiseen, ominaislämpökapasiteettiin sekä termodynaamiseen tasapainotilaan. Testissä oppilaiden piti valita oikea vastausvaihtoehto, jonka jälkeen heidän piti perustella valintaansa.

Oppilaiden vanhemmilta hankittiin tutkimuslupa ennen tutkimuksen aloittamista. Jokainen oppilas sai vanhemmiltaan luvan osallistua tutkimukseen ja heistä sai kerätä tietoja.

Toiseen tutkimuskysymykseen pyrittiin saamaan vastaus haastattelemalla opetusryhmän opettajaa, joka oli kokeilussa mukana. Haastattelu tehtiin heti opetuskokeilun jälkeen. Haastattelu oli puolistrukturoitu, eli vaikka se noudatti pääosin ennalta määritettyä

runkoa, sisälsi se myös spontaaneja jatkokysymyksiä. Haastattelu mukaili FM Jesse Hietalan eräässä opetuskokeilussa ja siihen liittyvässä tutkimuksessa käyttämää opettajien haastattelupohjaa. Haastattelussa on myös mukailtu Siewin ym. (2015) tutkimuksessa tekemiä haastatteluita. Haastattelu äänitettiin ja siitä pyrittiin kuuntelemalla tunnistamaan keskiset teemat. Haastattelurunko on esitetty liitteessä D.

4.3 Aineiston analysointi

Tässä tutkielmassa aineistona oli oppilaiden tekemät ennakko- ja lopputestit sekä oppitunnin jälkeen toteutettu opettajan haastattelu. Alku- ja lopputesteissä oli monivalintatehtäviä, ja osassa tehtävistä piti perustella vastaus sanallisesti. Testeissä saatiin siis määrällistä ja laadullista tutkimusaineistoa. Alku- ja lopputestit kerättiin nimellisenä, jotta kunkin oppilaan vastaukset pystyttiin yhdistämään toisiinsa tarkempien tulosten saamiseksi kunkin oppilaan osaamisen muutoksesta. Tulokset esitellään kuitenkin anonyymisti.

Analyysi oli pääasiassa aineistolähtöistä sisällönanalyysiä, jonka avulla pyritään analysoimaan dokumenttia sanallisesti ja kuvailevasti. Vastausten analysoimisessa käytettiin myös kuvailevan tilastotieteen menetelmiä. Sisällönanalyysillä voidaan analysoida kirjoitettua, sanallista tai visuaalista sisältöä systemaattisesti ja puolueettomasti. Sisällöistä puhutaan dokumentteina, joita voivat olla hymnit, uutiset, aikakausilehdet, artikkelit, mainokset, kirjat, haastattelut, puheet, keskustelut ja raportit. Dokumentiksi voidaan määritellä melkein mikä tahansa sanalliseen muotoon saatu materiaali. Sisällönanalyysilla on tarkoitus saada tutkittava aineisto jäsennellyksi, jolloin voidaan tehdä johtopäätöksiä ja saada tutkittavasta aineistosta kuvaus tiivistetyssä ja yleisessä muodossa. Sisällönanalyysissä tutkijan täytyy pystyä tekemään mielekkäitä johtopäätöksiä ja yleistyksiä aineistosta, jotta tulosten esittely ei olisi pelkästään jäsennellyn aineiston esittelyä. (Tuomi & Sarajärvi, 2002)

Analyysin ensimmäisessä vaiheessa oppilaiden alku- ja lopputestien monivalintavastaukset tarkastettiin ja pisteytettiin 1/0 p. Oppilaiden kokonaispisteistä laskettiin keskiarvo ja keskihajonta. Kuvailevan tilastotieteen menetelmistä keskiarvo on tässä tapauksessa sopiva menetelmä, koska aineiston tulokset ovat tasaisesti jakautuneet. Sen avulla saadaan isosta joukosta lukuja helpommin tulkittavat luvut. Tässä tutkielmassa

tulosten hajontaa kuvattiin keskihajonnalla. Se kertoo havaintojen keskimääräisen etäisyyden keskiarvosta. (Nummenmaa, 2009)

Keskiarvon ja -hajonnan laskemisen jälkeen tarkastettiin vastausten perustelut ja luokiteltiin ne täysin oikeiksi, puutteelliseksi tai vääräksi. Sen jälkeen tutkittiin, kuinka yksittäisten oppilaiden vastaukset oli muuttunut testien välillä. Samalla tehtiin tehtäväkohtaiset yhteenvedot vastauksista, jotka on esitetty luvussa 5. Samassa luvussa esitellään esimerkkejä oppilaiden perusteluista.

Ennakko- ja lopputesteissä avoimien tehtävien perustelut luokiteltiin vastauksen oikeellisuuden mukaan, eli valmiiseen teoriapohjaiseen lokeroon. Luokat olivat: oikea perustelu, puutteellinen perustelu ja väärä perustelu. Oppilaiden perusteluista etsittiin virhekäsityksiä jostain tietyistä lämpöopin peruskäsitteistä. Löydettyjä virhekäsityksiä verrattiin aiempien tutkimusten tuloksiin. Lisäksi vastauksista etsittiin sisältöjä, joita oppilaat hallitsevat. Opettajan haastattelusta pyrittiin kuuntelemalla tunnistamaan keskeiset teemat ja vastaukset kysymyksiin. Vastauksista tehtiin yhteenveto, joka on esitetty myös luvussa 5.

Luku V
Tulokset

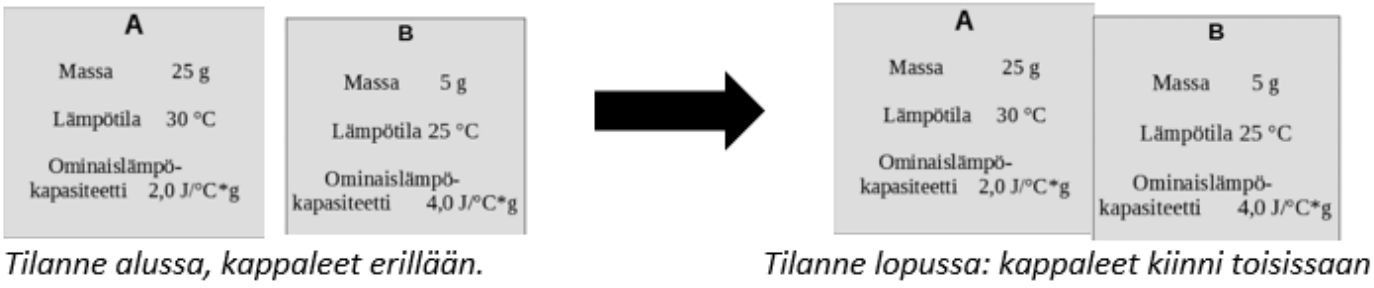
Tässä luvussa käsitellään tutkimuksen tuloksia. Ensin esitellään alku- ja lopputestien tulokset kysymyksittäin luokiteltuna vastauksen ja perustelun mukaan. Sen jälkeen esitellään tiivistelmä opettajan haastattelusta. Lopuksi tehdään yhteenveto testien kokonaispisteistä ja vastausten yhteisistä piirteistä.

5.1 Ennakko- ja lopputestien tulokset

Tässä luvussa on esitetty liitteen A ennakko- ja lopputestien tulokset tehtäväkohtaisesti sekä analysoitu oppilaiden vastauksia avoimiin kysymyksiin.

Tehtävä 1a

Tehtävässä 1a esitettiin kuva 5.1 ja kysyttiin, millä perusteella lämpöenergia siirtyy spontaanisti kappaleesta A kappaleeseen B. Kyseessä oli monivalintatehtävä, jossa oli neljä vastausvaihtoehtoa. Ne on esitetty liitteessä A. Tulokset on esitetty taulukossa 5.1.



Kuva 5.1 Tehtävän 1a kuva.

Taulukko 5.1 Alkutestin ja lopputestin tulokset tehtävässä 1a (N=20).

	Alkutesti	**Lopputesti**
Oikea vastaus	60 %	65 %
Väärä vastaus	40 %	35 %

Oikea vastaus oli *a) lämpöenergia siirtyy spontaanisti kappaleesta A kappaleeseen B, koska A:n lämpötila on korkeampi*. Tehtävä tarkasteli, kuinka hyvin oppilaat hallitsevat lämmön siirtymisen ja siihen vaikuttavat asiat. Tehtävässä piti tietää, että kosketuksessa lämpö siirtyy spontaanisti lämpimämmästä kappaleesta kylmempään kappaleeseen. Tehtävässä ei tapahtunut merkittävää osaamisen muutosta, kahden oppilaan vastaukset muuttuivat oikeaksi ja yhden vääräksi lopputestissä.

Useat oppilaat valitsivat vaihtoehdon *b*, jonka mukaan ominaislämpökapasiteetti vaikuttaisi lämpöenergian siirtymisen suuntaan. Vastausten perusteella oppilailla on vaikeuksia ymmärtää ominaislämpökapasiteetin määritelmää, mutta toisaalta iso osa oppilaista ymmärtää, että lämpöenergia siirtyy spontaanisti kuumasta kappaleesta kylmään kappaleeseen.

Tehtävä 1b

Tehtävässä 1b esitettiin kuva 5.1 ja kysyttiin, tarvitseeko kappale A enemmän, vähemmän vai yhtä paljon energiaa kuin kappale B, kun niiden lämpötilaa nostetaan 5 °C. Tehtävä oli monivalintatehtävä, jonka lisäksi oppilaiden piti perustella vastaus. Tulokset on esitetty taulukossa 5.2.

Taulukko 5.2 Tehtävän 1b tulokset luokiteltuna vastauksen ja perustelun mukaan (N=20).

	Alkutesti	**Lopputesti**
Oikea vastaus, oikea perustelu	30 %	35 %
Oikea vastaus, puutteellinen perustelu	0 %	0 %
Oikea vastaus, väärä perustelu	35 %	15 %
Virheellinen vastaus	35 %	50 %

Tehtävässä tarkasteltiin massan ja vaikutusta kappaleen lämmittämiseen tarvittavaan energiaan. Tehtävän oikea vastausvaihtoehto oli: kappale A tarvitse enemmän energiaa kuin kappale B. Vaikka kappaleen B ominaislämpökapasiteetti oli suurempi, kappaleen A massan, ominaislämpökapasiteetin ja lämpötilan muutoksen tulo on suurempi. Oikeaksi perusteluksi riitti, että oppilas kertoi A:n massan olevan isompi ja näin kappaleen lämmittämisen tarvitsevan enemmän energiaa.

Molemmissa testeissä suurin osa väärin vastanneista sanoi, että kappale A tarvitsee vähemmän energiaa kuin kappale B. Alkutesteissä vallitsevin virhe oli, että kappaleen A ominaislämpökapasiteetti on pienempi. Alkutestissä neljä oikein vastannutta perusteli kantaansa näin. Toinen vallitseva virhekäsitys oli, että jo valmiiksi lämpimän kappaleen lämmittämiseen tarvitaan enemmän energiaa kuin viileämmän kappaleen lämmittämiseen. Lopputestissä vallinneet virhekäsitykset olivat samankaltaisia kuin alkutestissä. Vain yksi väärin vastannut perusteli vastaustaan lämpimämmän kappaleen suuremmalla energiantarpeella. Loput väärin vastanneet perustelivat vastaustaan

kappaleen A pienemmällä ominaislämpökapasiteetilla. Oikein vastanneiden ja perustelleiden oppilaiden määrä kuitenkin kasvoi 5 %-yksiköllä ja oli lopputestissä 35 %.

Tehtävän kohdalla tapahtui yllättäen merkittävä osaamisen muutos huonompaan suuntaan, kun virheellisten vastausten määrä kasvoi seitsemästä kymmeneen. Täysin oikein vastanneiden määrä kasvoi yhdellä oppilaalla. Kolmen oppilaan vastaukset muuttuivat väärästä oikeaksi ja peräti seitsemän oppilaan vastaukset oikeasta vääräksi.

Tehtävä 2

Tehtävässä 2 esitettiin kuva 5.2 ja kerrottiin, että kappaleet ovat alussa saman lämpöisiä. Ne pudotettiin kuumaan veteen ja systeemi oli koskemattomana useita tunteja. Kysyttiin, kumman kappaleen loppulämpötila on suurempi vai ovatko ne yhtä suuria. Liitteessä A esitetyt vastausvaihtoehdot olivat monivalintoja, joiden lisäksi oppilaiden piti perustella vastaus. Tulokset on esitelty taulukossa 5.3.

Kuva 5.2 Tehtävän 2 kuva. (Mukaillen Jasien & Oberem, 2002)

Taulukko 5.3 Tehtävän 2 tulokset luokiteltuna vastauksen ja perustelun mukaan (N=20).

	Alkutesti	**Lopputesti**
Oikea vastaus, oikea perustelu	30 %	25 %
Oikea vastaus, puutteellinen perustelu	10 %	15 %
Oikea vastaus, väärä perustelu	15 %	20 %
Virheellinen vastaus	45 %	40 %

Tehtävässä täytyi ymmärtää, että systeemiin muodostui terminen tasapainotila, kun lämpötilojen annettiin tasaantua useita tunteja. Termisessä tasapainotilassa kappaleiden lämpötilat ovat tasaantuneet yhtä suuriksi ja näin ollen oikea vastaus oli, että alumiinin loppulämpötila on yhtä suuri kuin kuparin loppulämpötila. Oppilaiden piti osata perustella tilannetta lämpötilojen tasaantumisella pitkän ajan kuluessa.

Oikean vastausvaihtoehdon valinneiden kokonaisosuus kasvoi 5 %-yksiköllä, eli yhdellä oppilaalla. Väärän vastausvaihtoehdon valinneiden määrä laski yhdellä oppilaalla. Kolme oppilasta paransi tulostaan, kun taas kahden vastaus muuttui vääräksi lopputestissä. Kuitenkin oikein vastanneiden ja perusteleiden määrä laski yhdellä oppilaalla.

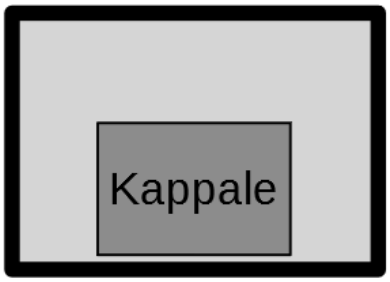
Oikeiden vastausten määrä kasvoi lopputestissä, mutta oikein perustelleiden määrä väheni. Puutteellisissa vastauksissa todettiin vain, että kappaleet ovat saman lämpöisiä. Alkutestin väärissä perusteluissa ei puhuttu ollenkaan lämpötilojen tasaantumisesta. Väärin vastanneiden keskuudessa perustelut painottuivat alumiinin suurempaan ominaislämpökapasiteettiin, joka aiheuttaisi erilaiset loppulämpötilat kappaleille. Monivalintaan oikein vastanneiden vääriä perusteluja oli esimerkiksi *”Alumiinikappale on suurempi kuin kuparikappale”* ja *”Alumiini imee niin paljon lämpöenergiaa että kuparille ei juurikaan jää ja niin ne ovat saman lämpöiset”*.

Lopputestissä oli enemmän vääriä perusteluja kuin alkutestissä, mutta vähemmän vääriä monivalintavastauksia. Lopputestiin väärin vastanneet perustelivat vastaustaan myös alumiinin suuremmalla ominaislämpökapasiteetilla. Oikein vastanneiden vääriä

perusteluja oli *”molemmista siirtyy yhtä paljon energiaa veteen ja vesi lämpeää”*, *”koska ne on vedessä”* ja *”vesi yrittää saada kumpaankin saman verran lämpöä”*.

Tehtävä 3a

Tehtävässä 3a esitettiin kuva 5.3 ja kerrottiin, että kappale upotettiin vedellä täytettyyn kalorimetriin, jonka jälkeen systeemin annettiin olla koskemattomana useita tunteja. Tehtävässä kerrottiin kappaleen ja nesteen massoista, alkulämpötiloista sekä ominaislämpökapasiteetista. Tehtävässä kysyttiin, kuinka paljon kappaleeseen on siirtynyt energiaa verrattuna nesteestä poistuneeseen energiaan. Tarkempi tehtävänanto on liitteessä A.



Kuva 5.3 Tehtävien 3a ja 3b kuva.

Tehtävä tarkasteli eristetyssä systeemissä, tässä tapauksessa kalorimetrissä, tapahtuvaa energian siirtymistä. Tehtävässä piti valita oikea monivalintavastaus sekä perustella valintaa. Tulokset on esitetty taulukossa 5.4.

Taulukko 5.4 Tehtävän 3a vastaukset luokiteltuna vastauksen ja perustelun mukaan (N=20).

	Alkutesti	**Lopputesti**
Oikea vastaus, oikea perustelu	45 %	55 %
Oikea vastaus, puutteellinen perustelu	25 %	20 %
Oikea vastaus, väärä perustelu	10 %	15 %
Virheellinen vastaus	20 %	10 %

Tehtävässä piti ymmärtää, että eristetyssä systeemissä lämpimän kappaleen luovuttaman energian määrä sekä kylmän kappaleen vastaanottaman energian määrä ovat yhtä suuret. Tässä tehtävässä viileämpi kappale vastaanottaa yhtä paljon energiaa kuin lämpimämpi vesi luovuttaa. Perusteluissa piti kertoa, että kaikki energia siirtyy kappaleeseen, koska systeemi on eristetty.

Oikein vastanneiden määrä kasvoi alku- ja lopputestin välillä 10 %-yksiköllä, eli kahdella oppilaalla. Oppilaskohtaisia tuloksia tarkasteltaessa selvisi, että neljä oppilasta paransi tulostaan monivalinnassa, mutta vain kahdella oppilaalla tulos heikkeni.

Myös täysin oikein perustelleiden määrä kasvoi kahdella oppilaalla. Tehtävän perusteella voidaan sanoa, että suuri osa oppilaista ymmärsi hyvin eristetyn systeemin käsitteenä ja tiesivät, että kalorimetristä ei pysty karkaamaan lämpöä pois, eikä siihen myöskään pääse lämpöä. Puutteellisiksi vastauksiksi laskettiin esimerkiksi *”ei energia voi tyhjästä ilmestyä”, ”energiaa ei voi kadota eikä sitä voi tulla lisää”* ja *”nesteestä ei voi siirtyä kappaleeseen sen enempää energiaa, kun mitä kappale vastaan ottaa”*. Sekä alku- ja lopputesteissä yksi väärin vastannut oppilas perusteli siirtyneen energian erisuuruutta kappaleen suuremmalla ominaislämpökapasiteetilla.

Tehtävä 3b

Tehtävässä 3b oli jatkokysymys tehtävään 3a. Tehtävässä kysyttiin, kuinka kappaleen lämpötila oli muuttunut verrattuna nesteen lämpötilaan, kun niiden massat ovat samat. Kappaleen ominaislämpökapasiteetti oli suurempi kuin nesteellä ja kappaleen alkulämpötila oli pienempi kuin nesteellä. Tehtävässä piti valita oikea monivalintavastaus sekä perustella valinta. Tulokset on esitetty taulukossa 5.5.

Taulukko 5.5. Tehtävän 3b vastaukset luokiteltuna vastauksen ja perustelun mukaan (N=20).

	Alkutesti	**Lopputesti**
Oikea vastaus, oikea perustelu	10 %	25 %
Oikea vastaus, puutteellinen perustelu	5 %	0 %
Oikea vastaus, väärä perustelu	5 %	10 %
Virheellinen vastaus	80 %	65 %

Tehtävä tarkasteli lämpöenergian säilymislakia eristetyssä systeemissä ja käytännössä tehtävässä piti ymmärtää ominaislämpökapasiteetin käsite ja miten se vaikuttaa kappaleen luovuttaman tai vastaanottaman lämpöenergian määrään. Eristetyssä systeemissä kappaleet saavuttamat saman loppulämpötilan, mutta toisen kappaleen lämpötila voi muuttua enemmän kuin toisen. Oikea vastaus tehtävään oli, että kappaleen lämpötila on muuttunut vähemmän kuin veden, sillä kappaleen ominaislämpökapasiteetti on suurempi kuin vedellä. Kappaleen lämpötilan muutokseen tarvitaan silloin enemmän energiaa kuin veden lämpötilan muutokseen. Tällöin veden lämpötila laskee enemmän kuin kappaleen lämpötila nousee.

Tulokset paranivat huomattavasti opetuskokeilun jälkeen. Oikeiden vastausten ja perustelujen osuus kasvoi kolmella oppilaalla ja kokonaisuudessaan väärien vastausten määrä tippui 15%-yksiköllä. Myös yksilöllisesti tarkasteltuna neljä oppilasta paransi tulostaan monivalintatehtävässä ja vain yhden tulos huononi.

Alkutestissä iso osa oppilaista perusteli lämpötilojen muutoksen yhtäsuuruutta tehtävän 3a tasapainotilalla. Kun kylmä kappale vastaanottaa saman verran energiaa kuin kuuma kappale luovuttaa, oppilaat päättelivät virheellisesti lämpötilojen muutoksen olevan siten samat molemmilla kappaleilla. Vääriä perusteluita oli esimerkiksi: ”*koska niiden massa on sama”, ”nesteestä on pitänyt poistua yhtä paljon lämpöä kuin kappale on saanut”* ja *”kappaleen ja nesteen lämpötila ’sekoittuu’ ja ne muuttuu yhtä paljon”.* Oikeita perusteluja oli *” kappaleen lämpötilan muutokseen kuluu enemmän energiaa, ja siksi sen lämpötila muuttuu vähemmän” ja ” kappaleen ominaislämpökapasiteetti on suurempi kuin vedellä”.*

Lopputestissä perustelut olivat saman kaltaisia kuin alkutestissä. Oikeiden vastausten määrä kasvoi ja väärien vastausten määrä laski. Lopputestissä vallitsevana virheellisenä perusteluna oli lämpötilojen tasainen sekoittuminen ja siitä johtuva yhtä suuri lämpötilojen muutos.

5.2 Testitulosten yhteenveto

Molemmissa testeissä monivalintatehtävien maksimipistemäärä oli viisi pistettä. Oppilaiden kokonaispisteiden keskiarvo ja keskihajonta ennakko- ja lopputesteissä on esitetty taulukossa 5.6. Ennakkotestissä kokonaispisteet vaihtelivat nollan ja viiden pisteen välillä. Lopputestissä kokonaispisteet vaihtelivat yhden ja viiden pisteen välillä.

Taulukko 5.6 Kokonaispisteiden keskiarvot ja keskihajonnat.

	Keskiarvo	**Keskihajonta**
Alkutesti	2,8	1,47
Lopputesti	3,0	0,95

Taulukosta 5.6 huomataan, että oppilaiden keskimääräinen kokonaispistemäärä parani hieman ennakko- ja lopputestien välillä. Myös keskihajonta pieneni noin kolmanneksella, mutta molemmissa testeissä se on kuitenkin melko suurta. Lopputestissä esiintyy siis

vähemmän vastausten vaihtelua, mutta keskiarvon ja keskihajonnan perusteella ei voida sanoa oppilaiden tulosten merkittävästi parantuneen.

Tutkittaessa vastausten ja perustelujen jakaumaa huomattiin, että oikeiden vastanneiden ja perustelleiden määrä kasvoi kolmessa tehtävässä neljästä. Myös täysin väärien vastausten määrä laski neljässä tehtävässä viidestä. Vain tehtävässä 1b väärien vastausten määrä kasvoi.

Kaikissa tehtävissä osa opiskelijoista perusteli virheellisesti vastauksiaan ominaislämpökapasiteetin avulla. Myös kappaleeseen sitoutuneeseen lämpöenergiaan vaikuttavat asiat ovat vaikeita, mikä huomattiin tehtävässä 1b. Oppilaiden osaaminen parantui etenkin eristetyssä systeemissä tapahtuvissa energian siirtymisissä sekä lämpöenergian säilymislain hallinnassa.

5.3 Opettajan haastattelu

Toista tutkimuskysymystä varten haastateltiin Pielisjoen koulun opettajaa, joka opetti opetuskokeiluun osallistunutta ryhmää. Haastattelu oli puolistrukturoitu, eli se noudatti pääasiassa ennalta määritettyä runkoa, mutta haastattelussa oli spontaaneja jatkokysymyksiä ja keskustelua. Haastattelussa selvisi, että opettajalla on paljon kokemusta teknologiseen ongelmanratkaisuun perustuvasta työpajatoiminnasta niin omassa opetuksessa, kuin esimerkiksi Scifest-tiedetapahtumassa pidetyissä työpajoissa.

Opettajan mielestä tunti meni hyvin. Oppilaat lähtivät tekemään innolla tutkimusta ja ryhmätyöskentely sujui hyvin. Oppilaat tykkäsivät, kun he saivat käyttää luovuutta uunien rakentelussa.

Opettajan mielestä tällä opetuskokeilulla ei todennäköisesti saavutettu tiedollisia tavoitteita. Aina kokeellisessa työskentelyssä opitaan kuitenkin menetelmää, eli miten tehdään tutkimusta ja mitä hyvän tutkimuksen tekemiseen kuuluu.

Opettaja antoi paljon kehitysideoita, miten opetuskokeilua voitaisiin kehittää lisää jopa hieman pidemmäksi kokonaisuudeksi. Suurimpana haasteena opettaja näki ajankäytön. Opettajan mielestä kokeilu olisi vaatinut vähintäänkin toisen kaksoistunnin, jossa käytäisiin läpi palautetta ja vertailtaisiin uunien tuloksia. Toisella tunnilla ryhmät olisivat voineet vertailla tuloksia ja he olisivat nähneet, kuinka joku toinen ryhmä oli ratkaissut

ongelman. Sen perusteella ryhmät olisivat voineet parantaa omia uunejaan ja tehdä ”tuotekehitystä”. Se on motivoivaa ja voi lisätä myös tiedollisten taitojen oppimista.

Opettaja ehdotti, että tutkimusta voisi jatkossa muuttaa avoimempaan suuntaan. Ensimmäisellä kerralla oppilaille voitaisiin antaa vapaat kädet rakentaa uuneja ilman mitään malleja. Toisella kerralla oppilaat voisi vertailla toistensa uuneja ja parannella omiaan muiden ideoiden pohjalta.

Opettaja ehdotti myös, että työpajassa voisi tutkia lämmitysajan vaikutusta kiveen sitoutuneeseen energiaan. Vaihtoehtoisesti voitaisiin tutkia, kuinka pitkään uunia pitää lämmittää, jotta siitä saataisiin paras mahdollinen hyöty. Tutkimuksellisesti ryhmillä voisi olla käytössä sama kivimäärä ja sama vesimäärä. Se laittaisi ryhmät samalle viivalle ja antaisi aidommat tulokset ryhmien välille.

Opettajan mielestä tästä opetuskokonaisuudesta saisi helposti jalostettua monituntisen kokonaisuuden kouluihin. Opettajalta työpajan pitäminen vaatii kiinnostusta asiaa kohtaan mutta esimerkiksi työssä käytettävä teoria on helppoa.

Luku VI
Pohdinta

Tässä luvussa esitellään tutkimustuloksista tehtyjä johtopäätöksiä opetuskokeilun vaikutuksesta lämpöopin oppimiseen. Lisäksi arvioidaan tutkimuksen luotettavuutta ja esitetään kehitysehdotuksia sekä jatkotutkimusideoita.

6.1 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tutkielman tarkoituksena oli selvittää, kuinka teknologiseen ongelmanratkaisuun perustuva opetuskokonaisuus vaikuttaa yläkoululaisten lämpöopin lainalaisuuksien osaamiseen. Lisäksi selvitettiin, millaisena pienoisuunin rakentelua käsittelevä kokonaisuus näyttäytyi opettajalle.

Ensimmäiseen tutkimuskysymykseen saatiin vastaus vertailemalla oppilaiden ennakko- ja lopputestien vastauksia niin monivalintatehtävissä, kun avoimissakin tehtävissä. Testien välissä pidettiin opetuskokeilu, jossa oppilaat rakentelivat pienoisvuolukiviuuneja. Yleisesti tarkasteltaessa oppilaiden osaaminen parantui hieman opetuskokeilun aikana, koska kokonaispisteiden keskiarvo ja keskihajonta olivat hieman parempia lopputestissä verrattuna ennakkotestiin. Myös suurimmassa osassa kysymyksiä oikeiden perusteluiden määrä kasvoi.

Testien ensimmäisessä kysymyksessä ei tapahtunut merkittävää muutosta ja oikein vastasi lopputestissä 5 %-yksikköä enemmän kuin alkutestissä. Yleisimpänä virheenä oppilaat ajattelivat, että ominaislämpökapasiteetti vaikuttaisi siirtyneen lämmön suuntaan. Myös Jasienin & Oberemin (2004) tutkimuksessa melkein puolet vastaajista

luuli ominaislämpökapasiteetin tai massan vaikuttavan siirtyvän lämpöenergian suuntaan. Saatujen tulosten ja muiden tutkimusten perusteella voidaan päätellä, että ominaislämpökapasiteetin ymmärtäminen tuottaa vaikeuksia eri puolilla maailmaa.

Tehtävässä 1b esitettiin kuva 5.1 ja kysyttiin, tarvitseeko kappale A enemmän, vähemmän vai yhtä paljon energiaa kuin kappale B, kun niiden lämpötilaa nostetaan 5 °C. Tehtävän tuloksissa tapahtui käänne huonompaan suuntaan. Virheellisten vastausten määrä kasvoi 15 %-yksiköllä eli kolmella oppilaalla. Kuitenkin oikein vastanneiden ja perustelleiden määrä kasvoi yhdellä oppilaalla. Oikein vastanneiden, mutta väärin perustelleiden määrä laski selvästi, joten yhtenä tuloksia selittävänä tekijänä on, että osa alkutestissä oikein vastanneista mutta väärin perustelleista oppilaista vastasi myös väärin lopputestissä. Osa on myös saattanut arvata vastauksen oikein, vaikka perustelut olivat väärät. Tehtävän perusteella voidaan päätellä, että oppilailla on vaikeuksia ymmärtää kappaleeseen sitoutuneeseen lämpöenergiaan vaikuttavia asioita. Massan, lämpötilan muutoksen ja ominaislämpökapasiteetin yhdistäminen tuntui olevan vaikeaa testissä, mutta oppitunnilla lämpöenergian kaavan $Q = cm\Delta T$ soveltaminen onnistui hyvin. Myös Christensenin ym. (2011) tutkimuksessa selvisi, että ominaislämpökapasiteetin vaikutus lämpötilan muutokseen voi olla vaikea ymmärtää. Christensen ym. (2011) tutkimus tehtiin yliopisto-opiskelijoille, ja tulosten perusteella oppilailla näyttäisi olevan samoja ymmärtämisen ongelmia niin peruskoulussa kuin yliopistossakin.

Tehtävässä 2 väärin vastanneiden määrä oli alkutestissä 45 % ja lopputestissä 40 %. Oikein vastanneiden ja perustelleiden oppilaiden osuus tippui 5 %-yksiköllä ja oli lopputestissä 25 %. Vastausten perusteella voidaan sanoa, että osalla oppilaista on vaikeuksia ymmärtää ominaislämpökapasiteetin sekä termodynaamisen tasapainotilan käsitteitä, koska iso osa vääristä vastauksista perusteltiin ominaislämpökapasiteetin avulla. Jasienin & Oberemin tutkimuksessa (2004) saadut tulokset olivat samankaltaisia kuin tässä tutkimuksessa saadut tulokset. Tutkimuksessa selvisi myös, että oppilailla on vaikeuksia ymmärtää termisen tasapainotilan käsitettä. Yhteistä tutkimuksien tuloksissa oli myös se, että oppilailla on väärä käsitys ominaislämpökapasiteetin vaikutuksesta loppulämpötilaan. Mielenkiintoista on, että tässä tutkimuksessa oppilaiden osaaminen oli hieman paremmin kuin Jasienin & Oberemin (2004) tutkimuksessa.

Tehtävässä 3a tapahtui merkittävää parannusta ennakko- ja lopputestien välillä. Oikein vastanneiden ja perustelleiden määrä kasvoi 10 %-yksiköllä eli kahdella oppilaalla ja oli lopputestissä 55 %. Virheellisten vastausten määrä laski 10 %-yksikköä ja oli

lopputestissä vain 10 %. Christensenin ym. (2011) tutkimuksessa noin viidesosa vastasi virheellisesti siirtyneiden energioiden olevan erisuuret. Opetuskokeilussa kiveen varastoituneen energian mittaamisessa käytettiin kalorimetriä, jossa olevaan veteen upotettiin lämmitetyt kivet. Siinä havainnollistettiin eristetyssä systeemissä tapahtuvia lämpöenergian siirtymisiä sekä harjoiteltiin lämpöenergian laskemista. Tulosten parantumista voidaankin todennäköisesti selittää kokeellisella työskentelyllä. Myös Guzeyn ym. (2017) tutkimuksessa yläkoululaisten ymmärrys lämmönsiirtymisissä parani. Aiempien tutkimusten ja tässä tutkielmassa saatujen havaintojen perusteella kokeellinen työskentely näyttäisi parantavan oppimistuloksia ja joidenkin lämpöopin käsitteiden ymmärtämistä.

Tehtävä 3b oli tulosten valossa vaikein tehtävä koko testissä. Alkutestissä oikein vastasi 20 % ja lopputestissä 35 %. Oikein vastanneiden ja perustelleiden määrä kasvoi 10 %-yksiköllä ja oli lopputestissä 25 %. Tässä tehtävässä tapahtui huomattavaa parannusta oppilaiden osaamisessa. Kuitenkin tehtävän korkeiden väärien vastausten määrän perusteella voidaan sanoa, että ominaislämpökapasiteetti on vaikea asia ymmärtää. Toisaalta asiaa voi selittää se, että tutkimusryhmänä oli vasta yhdeksäsluokkalaisia nuoria ja he ovat opiskelleet fysiikkaa melko lyhyen aikaa. Myös Christensenin ym. (2011) yliopisto-opiskelijoille tehdyssä tutkimuksessa havaittiin samankaltaisia ymmärtämisen ongelmia. Tutkimusten valossa samoja ymmärtämisen ongelmia esiintyy niin peruskoulussa kuin yliopistossakin. Opettajan pitäisi tiedostaa peruskoulussa ja lukiossa ymmärtämisen ongelmakohtia ja varoa vahvistamasta niitä. Myös kokeellisuutta ja havainnollistamista lisäämällä on huomattu olevan positiivisia vaikutuksia oppimiseen, joten opettajat voisivat käyttää niitä enemmän opetuksessaan (Christensen ym., 2011; Jasien & Oberem, 2002; Schnittka & Bell, 2011).

Testien tulosten perusteella ei oikein voida sanoa, että oppilaiden ymmärrys lämpöopin lainalaisuuksista olisi parantunut opetuskokeilun aikana. Ennakko- ja lopputestien keskiarvot sekä keskihajonnat ovat niin lähellä toisiaan, ettei selvää eroa saada näkymään. Esimerkiksi Christensenin ym. (2011), Jasienin & Oberemin (2004) sekä Schnittkan & Bellin (2011) tutkimuksissa otannat olivat paljon suurempia. Ennakko- ja lopputestien vastaukset paranivat yhtä kysymystä lukuun ottamatta ja myös oikeiden perustelujen määrät kasvoivat. Avoimien tehtävien perusteella voidaan sanoa oppilaiden ymmärtävän etenkin eristetyssä systeemissä tapahtuvia energian siirtymisiä, mutta ominaislämpökapasiteetti on vaikea käsite. Testien vaikeustaso ja oppilaiden ikä huomioon ottaen tulokset olivat kuitenkin kannustavia.

Mielestäni opetuskokeilussa ei kuitenkaan saavutettu maksimaalista hyötyä, sillä tuloksista ei keskusteltu oppilaiden kanssa ja esimerkiksi uunien tuotekehitys olisi voinut parantaa oppilaiden osaamista entistä enemmän. Oppilaiden lämpöopin osaamisesta voidaan testien perusteella sanoa, että heille ei ole välttämättä vielä muodostunut käsitteellistä tietoa esimerkiksi lämpöenergiasta ja ominaislämpökapasiteetista. Sen huomasi etenkin tehtävissä, joissa piti soveltaa kappaleeseen sitoutuneen lämpöenergian määrän kaavaa (9). Oppilaat ovat kuulleet asiasta ja tietävät siitä jotain, mutta eivät osaa soveltaa opittua asiaa eri konteksteissa. Osalla oppilaista meni myös lämpö, lämpötila ja lämpöenergia sekaisin. Scnittkan & Bellin (2011) mukaan lämpö ja lämpötila menevät helposti sekaisin puhekielessä. Näin on varmasti käynyt myös tässä tapauksessa.

Toisena tutkimuskysymyksenä selvitettiin, millaisena pienoisuunin rakentamista käsittelevä kokonaisuus näyttäytyy opettajalle. Kysymykseen saatiin vastaus haastattelemalla opettajaa oppitunnin jälkeen ja haastattelua kuuntelemalla tunnistettiin kysymyksen kannalta olennaisimmat asiat.

Opettajan mielestä tunti sujui mallikkaasti ja oppilaat tykkäsivät rakentelusta. Opettaja oli skeptinen oppitunnilla saavutettujen tiedollisten tavoitteiden suhteen. Hänen mielestään tunnilla opittiin tekemään tutkimusta ja innostettiin oppilaita hyvin, mutta tiedollisten tavoitteiden saavuttamiseksi vaadittaisiin vielä toinen tunti, jossa käydään läpi palautetta ja vertailtaisiin tuloksia. Opettaja kertoi, että työpajan pitäminen vaatii opettajalta aktiivisuutta ja innostuneisuutta. Opettajan on oltava itse innostunut pitämään työpajaa. Opettaja saattaa lisäksi joutua kyselemään lisätietoa tai materiaalia esimerkiksi eri yrityksiltä, jos koululta ei löydy tarvittavia materiaaleja, esimerkiksi vuolukiveä. Opettajan mielestä työpajassa vaadittava teoriaosaaminen ei vaadi aineenopettajalta mittavia lisäponnisteluja.

Voidaan sanoa, että opetuskokeilu näyttäytyi opettajalle lupaavassa valossa. Työpajaa on mahdollista kehittää todella monipuoliseksi ja monen tunnin mittaiseksi kokonaisuudeksi. Opettajan kommentit yhdessä tutkimuksesta saatujen tulosten kanssa antavat hyvät lähtökohdat kehittää teknologiseen ongelmanratkaisuun perustuvaa pienoisvuolukiviuunien rakentelutyöpajaa. Toteuttamisen haasteena on mielestäni materiaalien saatavuus ja opettajan viitseliäisyys toteuttaa näin isoa projektia. Myös opetusryhmän kyky työskennellä ryhmissä vaikuttaa opettajan haluun toteuttaa opetuskokeilua.

Siewin ym. (2015) tutkimuksessa opettajien haastatteluissa selvisi samankaltaisia asioita: liian vähän aikaa toteutukseen, puutteelliset materiaalit ja välineet, tarvittavan teoriatiedon vaikeus sekä liian iso suunnittelutyö. Mielestäni Suomessa aineenopettajilla on riittävän hyvä aineenhallinta tällaisen projektin toteuttamiseen. Opettajien kynnystä toteuttaa tämänkaltaisia projekteja voitaisiin madaltaa vähentämällä opettajan omaa suunnittelutaakkaa. Sitä varten on tärkeää tuottaa materiaalia kaikkien saataville esimerkiksi valtakunnallisen LUMA SUOMI -verkoston välityksellä. Lisäksi opettajia pitäisi tiedottaa valmiiden materiaalien olemassaolosta.

6.2 Tulosten luotettavuuden tarkastelu

Vaikka luokan oppimistulokset näyttivät hieman paranevan, otannan pienuuden vuoksi (N=20) tulokset eivät ole yleistettävissä koskemaan isompaa joukkoa. Tulosten heittelyt saattavat johtua satunnaisuudesta, joten tämänkään takia ei voida yleistää tuloksia.

Oppilaiden oppimista tarkastelevat testit mukailivat aiheesta tehtyjä tutkimuksia. Testit laati tutkielman tekijä ja ne tarkasti tutkielman ohjaaja sekä luokan opettaja. Näin ollen oppimistuloksia selvittävät testit perustuvat tutkittuun tietoon ja ne on tarkastettu virheiden varalta, joten pidän testejä luotettavina oppimisen arviointityökaluina. Lisäksi ennakko- ja lopputestit olivat samoja, mikä poistaa helpomman lopputestin mahdollisesti aiheuttamia eroja tuloksissa.

Aineistoa analysoi yksin tutkielman tekijä ja analyysimenetelmänä oli sisällönanalyysi. Aineistoa kerättiin monella tapaa: monivalintakysymykset, avoimet kysymykset sekä haastattelu. Vastaukset luokiteltiin perusteluiden oikeellisuuden mukaan ja luokittelu suunniteltiin yhdessä ohjaajan kanssa. Sisällönanalyysi menetelmänä tuottaa monipuolista tietoa aineistosta. Tutkimuksen tekijän aineenhallinta lisää analyysin luotettavuutta, koska oppilaiden vastausten luokittelu vaatii myös tutkimuksen tekijältä lämpöopin osaamista. Luotettavuutta voisi lisätä sillä, että myös joku toinen tutkija luokittelisi vastauksia.

6.3 Jatkotutkimusehdotuksia

Tutkimuksessa saatujen tulosten perusteella työpaja kannattaa ehdottomasti kehittää lisää ja toteuttaa uudestaan. Myös jatkotutkimukset isommalla otannalla opetuskokeilun arvioimiseksi olisi paikallaan. Omien havaintojen ja opettajan haastattelussa saatujen tietojen perusteella työpaja vaatisi enemmän aikaa kuin vain yhden kaksoistunnin. Esimerkiksi kahden kaksoistunnin mittaisessa työpajassa oppilaat pääsisivät vertailemaan omia ja toisten ryhmien uunien rakenteita ja tuloksia ja niiden perusteella ryhmät voisivat parannella omia uunejaan. Tässä vaiheessa oppilaiden tiedolliset taidot kasvaisivat eniten, sillä he joutuisivat miettimään uunien hyviä ja huonoja puolia myös fysiikan näkökulmasta. Ryhmistä voisi myös kehittyä aivoriihi, jossa kukin oppilas tuo omia ideoitaan mukaan ja he yhdessä kehittävät uunia paremmaksi.

Niin omassa pohdinnassa kuin opettajan haastattelussakin nousi esille opetuskokeilun ensimmäisen tehtävän (Liite B) tarpeellisuus. Sen voisi jättää pois ja keskittyä enemmän itse uunien rakenteluun. Opettaja ehdotti, että työpajassa voisi tutkia esimerkiksi lämmitysajan vaikutusta uunin lämpenemiseen. Tutkimuksellisessa mielessä käytettävissä olevien kivien ja veden massa voisi olla kaikilla ryhmillä sama. Tämä tuo vertailukelpoisempia tuloksia ryhmien välille, jos käytettävissä on esimerkiksi samanlainen lämmönlähde.

Työpajaa kannattaa ehdottomasti kokeilla isommalla otannalla, sillä nykyisen otannan perusteella ei voida vielä tehdä suurempia yleistyksiä oppilaiden osaamisen kehityksestä. Myös lukion lämpöopin kurssilla kannattaa kokeilla tämän tyyppistä työpajaa, sillä lukiolaisilla on jo parempi aineenhallinta ja he voisivat saada työpajasta enemmän irti tiedollisesti.

Viitteet

Blundell, S. (2010). *Concepts in thermal physics (2nd ed.).* New York: Oxford University Press.

Christensen, W. M., Meltzer, D. E. & Nguyen, N.-L. (2011). Student understanding of calorimetry in introductory calculus-based physics. *American Journal of Physics, 79*(11), s. 1168.

Duit, R. (2007). Science Education Research Internationally: Conceptions, Research Methods, Domains of Research. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education, 3*(1), 3-15.

Duit, R., Grobelgießer, H. & Kattmann, U. (2005). Towards science education research that is relevant for improving practice: The model of educational reconstruction. Teoksessa H. E. Fischer, *Developing Standards in Research on Science Education* (ss. 1-9). London, UK: Taylor & Francis Group plc.

Guzey, S. S., Harwell, M., Moreno, M., Peralta, Y. & Moore, T. J. (2017). The Impact of Design-Based STEM Integration Curricula on Student Achievement in Engineering, Science, and Mathematics. *Journal of Science Education and Technology, 26*(2), 207-222.

Heil, D. R., Pearson, G. & Burger, S. E. (2013). Understanding Integrated STEM Education: Report on a National Study. American Society for Engineering Education.

Hemilä, S. & Utriainen, J. (1989). *Lämpöoppi.* Jyväskylä: Suomen Fyysikkoseura.

IPN Kiel. (2018). Haettu 2. Toukokuuta 2018 osoitteesta IPN Kiel: https://www.ipn.uni-kiel.de/en?set_language=en

Jasien, P. G. & Oberem, G. E. (2002). Understanding of Elementary Concepts in Heat and Temperature among College Students and K–12 Teachers. *Journal of Chemical Education, 79*(7), 889-895.

Kelley, T. R. & Knowles, J. G. (2016). A conceptual framework for integrated STEM education. *International Journal of STEM Education, 3*(1), 1-11.

Kesonen, M., Ohvanainen, J., Hietela, J., Ikonen, K., Asikainen, M. A. & Hirvonen, P. E. (2017). Tulta, kiveä ja yritysyhteistyötä. *Dimensio*(5), ss. 30-35.

Knight, R. D. (2013). *Physics for scientists and engineers – A strategic approach (Third edition).* San Francisco: Pearson.

Nummenmaa, L. (2009). *Käyttäytymistieteiden tilastolliset menetelmät.* Helsinki: Tammi.

Nurkka, N. (2006). *VOIMAN MOMENTIN TUTKIMUSPERUSTAISEN OPETUSJAKSON KEHITTÄMINEN JA ARVIOINTI.* Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, Fysiikan laitos.

Opetushallitus. (2014). *Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet 2014.* Haettu 15. Tammikuuta 2018 osoitteesta http://www.oph.fi/download/163777_perusopetuksen_opetussuunnitelman_perusteet_2014.pdf

Properties of soapstone. (2018). Haettu 25. Tammikuuta 2018 osoitteesta Tulikivi: http://www.tulikivi.com/en/tulikivi/Properties_of_soapstone

Schnittka, C. & Bell, R. (2011). Engineering Design and Conceptual Change in Science: Addressing thermal energy and heat transfer in eighth grade. *International Journal of Science Education, 33*(13), 1861-1887.

Siew, N., Amir, N., & Chong, C. (2015). The perceptions of pre-service and in-service teachers regarding a project-based STEM approach to teaching science. *SpringerPlus, 4*(1), ss. 1-20.

Tiira, S. (1986). *Vuolukivi rakennuskivenä.* Joensuu: Suomen vuolukivi Oy.

Tuomi, J. & Sarajärvi, A. (2002). *Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi.* Helsinki: Tammi.

Liite A

Työohje

Uuniprojektin työohje

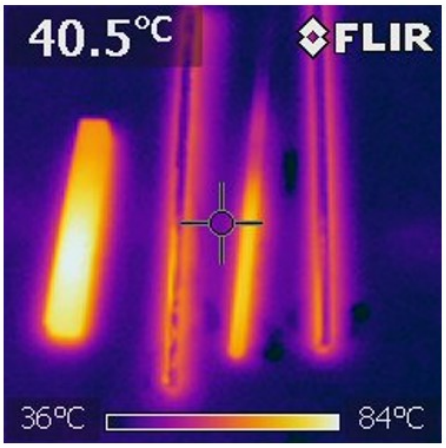
Ryhmä:

1. Kappaleiden vertailu

Alla olevassa taulukossa on vertailtu eri materiaalien ominaislämpökapasiteettia ja lämmönjohtavuuskertoimia.

Kappale	Ominaislämpökapasiteetti	Lämmönjohtavuuskerroin
Vuolukivi	0,98 kJ/°C*kg	6,4 W/°C*m
Alumiini	0,9 kJ/°C*kg	236 W/°C*m
Kupari	0,387 kJ/°C*kg	390 W/°C*m
Lasi	0,84 kJ/°C*kg	1 W/°C*m

Taulukossa olevat kappaleet upotetaan kuumaan veteen muutamaksi minuutiksi ja asetellaan sen jälkeen eristävälle tasolle. Oikealla on lämpökamerakuva kappaleista, kun ne ovat olleet hetken pois vedestä.



Nimetkää kappaleet viereiseen kuvaan. Perustelkaa vastauksenne yllä olevaa taulukkoa hyödyntäen.

2. Uunin rakentaminen

Tavoitteena on suunnitella ja rakentaa uuni, joka varastoi mahdollisimman hyvin lämpöenergiaa. Ryhmien on tarkoitus suunnitella uuni itse käyttäen sekä omia tietoja, että edellisen sivun teoriatietoa. Lisäksi voi etsiä esimerkkejä uunin rakenteista internetistä.

Tarkoituksena on testata uunin lämmön varastoimiskykyä polttamalla tuikkua uunissa ja sen jälkeen palat veteen upottamalla laskea, paljonko kiviin on varastoitunut lämpöenergiaa.

Pohtikaa, kuinka veden lämpötilan avulla voidaan määrittää kiviin varastoituneen energian määrä.

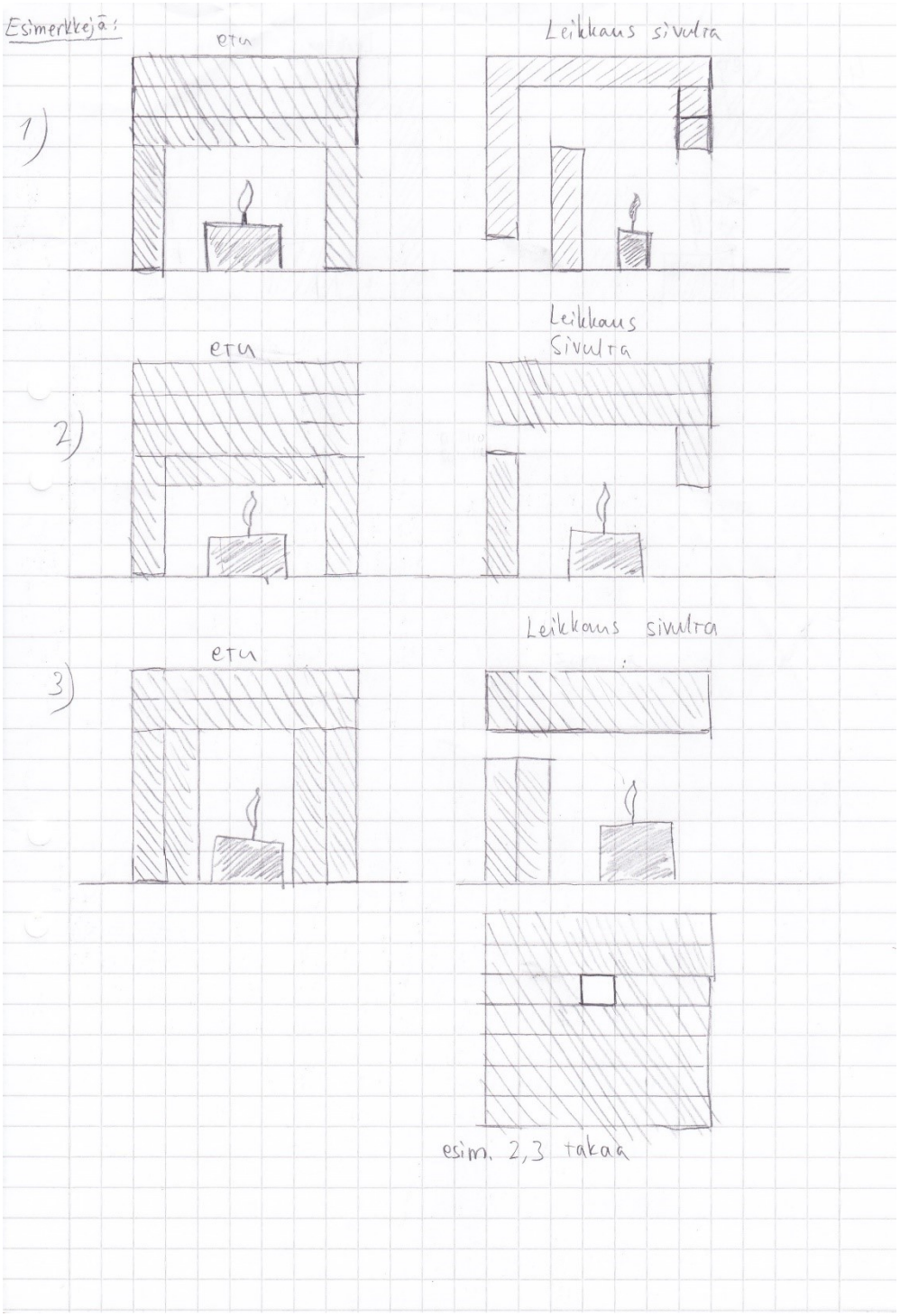
Kootkaa vastaukset erilliseksi työpöytäkirjaksi. Lisäksi työpöytäkirjassa tulee kuvata tekemistä ja havaintoja: mitä tehdään ja miksi? Työpöytäkirjassa pohditaan esimerkiksi:

- Minkälainen uunin rakenne kannattaa olla, jotta se varastoi parhaiten lämpöenergiaa?
- Kuvaile/piirrä rakennetta
- Miksi rakenne juuri sellainen?
- Mihin fysiikan tietoihin suunnitelma perustuu?

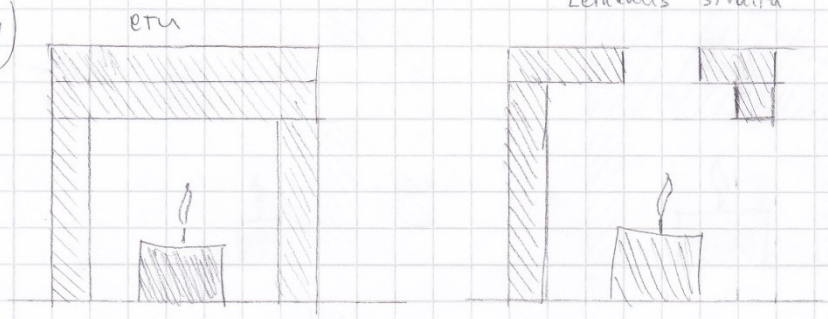
Tutkimuksen jälkeen pohtikaa, kuinka uunista saisi entistä paremman.

Liite B

Apukuvat uunin rakenteesta



4)

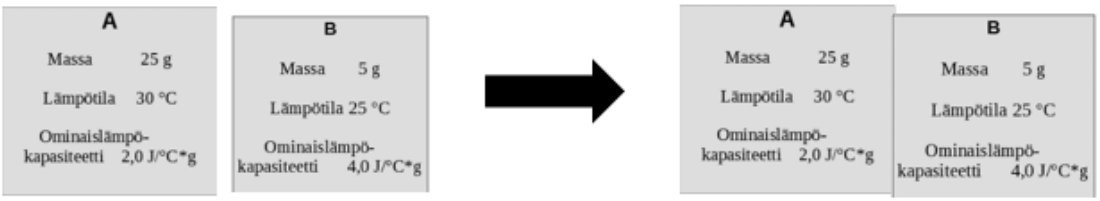


Liite C

Ennakko-/lopputesti

Vastaa seuraaviin monivalintakysymyksiin merkitsemällä mielestäsi oikea vastausvaihtoehto. Perustele tarvittaessa vastauksesi.

1. Alla olevassa kuvassa on kaksi kappaletta: **A** ja **B**. Alussa kappaleet ovat erillään, jonka jälkeen ne ovat kosketuksissa toisiinsa.



Tilanne alussa, kappaleet erillään. *Tilanne lopussa: kappaleet kiinni toisissaan*

1a) Kun kappaleet **A** ja **B** ovat kosketuksissa toisiinsa, mikä väittämistä pitää paikkaansa:

a) Lämpöenergia siirtyy spontaanisti kappaleesta A kappaleeseen B, koska A:n lämpötila on korkeampi.

b) Lämpöenergia siirtyy spontaanisti kappaleesta A kappaleeseen B, koska B:llä on suurempi ominaislämpökapasiteetti.

c) Lämpöenergia siirtyy spontaanisti kappaleesta A kappaleeseen B, koska A on painavampi.

d) Jotain muuta, mitä? _____

1b) Kappaleiden **A** ja **B** lämpötilaa nostetaan 5 °C, kappale A tarvitsee _____ lämpöenergiaa kuin kappale B.

a) enemmän b) vähemmän c) yhtä paljon.

Perustele valintasi:

2. Alumiinin ominaislämpökapasiteetti on kaksinkertainen kupariin verrattuna. Molempien kappaleiden alkulämpötila on 0°C. Kappaleet pudotetaan samaan aikaan kuumaan veteen.

Kappaleet ovat vedessä useita tunteja. Lopulta saavutetaan tasapainotila, jolloin lämpöenergiaa ei enää siirry kappaleisiin. Mikä seuraavista pitää paikkansa?

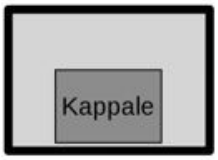
Alumiinin loppulämpötila on

a) korkeampi
b) matalampi
c) yhtä suuri

kuin kuparin loppulämpötila.

Perustele valintasi:

3. Kappale upotetaan kokonaan vedellä täytettyyn styroksiastiaan, eli kalorimetriin. Kalorimetri on eristetty ympäristöstä niin, että energiaa ei siirry ympäristöön. Tiedetään, että:
   - Kappaleen ja nesteen massat ovat yhtä suuria.
   - Kappaleen alkulämpötila on pienempi kuin nesteellä.
   - Kappaleen ominaislämpökapasiteetti on suurempi kuin nesteellä.



Kalorimetrin annetaan olla koskemattomana, kunnes vesi ja kappale ovat saavuttaneet saman lämpötilan.

3a) Mikä seuraavista energiaa koskevista väittämistä pitää paikkansa?

Kappaleeseen on siirtynyt energiaa _____ kuin nesteestä on poistunut energiaa.

a) enemmän b) vähemmän c) yhtä paljon

Perustele valintasi:

3b) Mikä seuraavista lämpötiloja koskevista väittämistä pitää paikkansa?

Kappaleen lämpötila on muuttunut _____ kuin nesteen lämpötila.

a) enemmän b) vähemmän c) yhtä paljon

Perustele valintasi:

Liite D

Opettajan haastattelun kysymykset

- Miten tunti meni opettajan mielestä?
- Kuinka oppilaat toimivat?
- Saavutettiinko opettajan mielestä tunnilla jotain?
- Oliko opettajan mielestä tunneista hyötyä?
- Mitä hyötyä oppilaille on tämänkaltaisista kokonaisuuksista?
- Pitäisitkö tämän tyyppisiä tunteja jatkossakin?
- Miten muuttaisit/parantelisit oppituntia?
- Mitä mielestäsi tällaisen kokonaisuuden pitäminen vaatii opettajalta?
- Pitäisikö nykyisiä opettajia esimerkiksi kouluttaa lisää?
- Vapaa sana